N. II
20/d





DIE NATURWISSENSCHAFTEN
IN IHRER ENTWICKLUNG UND IN IHREM ZUSAMMENHANGE

DARGESTELLT VON

FRIEDRICH DANNEMANN

ERSTER BAND:
VON DEN ANFÄNGEN BIS ZUM WIEDERAUFLEBEN DER WISSENSCHAFTEN

MIT 50 ABBILDUNGEN IM TEXT UND
EINEM BILDNIS VON ARISTOTELES

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG · 1910



ARISTOTELES

(Marmorkopf im k. k. Hofmuseum zu Wien).

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

IN IHRER ENTWICKLUNG UND IN IHREM ZUSAMMENHANGE

DARGESTELLT VON

FRIEDRICH DANNEMANN

ERSTER BAND:

VON DEN ANFÄNGEN BIS ZUM WIEDERAUFLEBEN DER WISSENSCHAFTEN

MIT 50 ABBILDUNGEN IM TEXT UND MIT EINEM BILDNIS VON ARISTOTELES

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1910

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung vorbehalten.



Druck der Königl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz A. G. in Würzburg.

Vorwort.

Das vorliegende, auf vier Bände berechnete Werk ist aus dem zweiten Teile meines bisher zweimal erschienenen „Grundriß einer Geschichte der Naturwissenschaften“ hervorgegangen. Es handelt sich gewissermaßen um eine neue, völlig umgearbeitete, an Umfang auf das Vierfache erweiterte Ausgabe. Auch der erste Teil des Grundrisses erschien vor kurzem, gleichfalls in der dritten Auflage, als selbständiges Buch und zwar unter dem neuen Titel „Aus der Werkstatt großer Forscher“. Es stellt sich die Aufgabe, durch geeignete Abschnitte aus den Werken großer Forscher eine unmittelbare Bekanntschaft mit den wichtigsten Begebenheiten und den Hauptträgern der Geschichte der exakten Wissenschaften zu vermitteln und auf diese Weise dem Eindringen in ihre Zusammenhänge den Weg zu ebnen. An diese, zur Einführung in die Geschichte der Wissenschaften bestimmte Propädeutik, die insbesondere den Unterricht auf der Oberstufe der höheren Lehranstalten nach der historischen Seite hin anregen soll, schließt sich die zusammenhängende Darstellung der Entwicklung der Naturwissenschaften zwar an, sie verfolgt aber, wie schon aus dem Umfange hervorgeht, viel weiter liegende Ziele.

Das Interesse für die Geschichte der Wissenschaften ist seit mehreren Jahrzehnten ein sehr lebhaftes. Je mehr man erkennt, daß sich einer Enträtselung der Natur mit jedem Schritte neue Schwierigkeiten entgegenstellen, um so lieber richtet sich der Blick auch wieder rückwärts, um den durchmessenen Weg zu überschauen und aus dem reichen Gesamtergebnis der bisherigen Forschung neue Hoffnung auf ein immer tieferes Eindringen in den Zusammenhang der Naturerscheinungen zu schöpfen. Die Zeiten, in denen sich jeder nur mit dem augenblicklichen Stand seiner Wissenschaft beschäftigte, sind zum Glück vorüber. Je mehr die Tätigkeit des einzelnen sich auf ein kleines Arbeitsfeld beschränkt, um

so dringender wird das Bedürfnis, auch den Blick auf die Gesamtwissenschaft zu richten. Sie in ihrem gegenwärtigen Umfange zu überschauen, ist nicht möglich. Wohl aber können wir sie uns in einem historischen Rückblick vergegenwärtigen, welcher die Haupttatsachen hervorhebt, sie verknüpft und zu einer vertieften Auffassung anregt. Eine wertvolle Frucht des geschichtlichen Studiums ist ferner darin zu erblicken, daß es vor dogmatischer Einseitigkeit bewahrt, wenn man sich die Wissenschaft als etwas Werdendes und infolgedessen noch Unfertiges vergegenwärtigt. Auch läßt sich nicht verkennen, daß uns sehr oft dieselben oder ähnliche Methoden und Schlußweisen, wie wir sie heute anwenden, in der Entwicklung der Wissenschaft begegnen, so daß man über die Folgerichtigkeit und die stete Läuterung der Vorstellungen stets wieder staunen muß. Manche Gebiete lassen sich daher kaum darstellen, ohne an die früheren Untersuchungen, Vorstellungen und Gedankengänge anzuknüpfen. Aus diesem Grunde ist die genetische Betrachtungsweise nicht nur in manche Lehrbücher eingedrungen, sondern es sind auch zahlreiche Geschichten der Einzelwissenschaften entstanden und das Quellenstudium durch Neudrucke der oft schwer zugänglichen älteren Arbeiten belebt worden. Erinnert sei hier nur an Ostwalds großes Unternehmen. Seine „Klassiker der exakten Wissenschaften“ erscheinen seit 1889. Sie enthalten in den bis jetzt herausgebenen 173 Bänden, die grundlegenden Abhandlungen aus den Gebieten der Mathematik, Astronomie, Physik, Kristallographie und Physiologie.

Geschichtswerke über die einzelnen Wissenszweige, wie das Unternehmen der bayerischen Akademie der Wissenschaften, sowie die Originalarbeiten der großen Forscher bilden das Fundament, auf dem sich die Darstellung der Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung und ihrem Zusammenhange erhebt. Das vorliegende Werk soll gewissermaßen den Rahmen für Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften abgeben und die Beziehungen aufweisen, durch welche die einzelnen Gebiete in ihrem Werdegange sich gegenseitig beeinflußt haben. Die Wissenschaftsgeschichte ist vor allem ein wichtiger Teil der Kulturgeschichte. Sie kann daher nur verstanden werden, wenn wir sie in ihrem Zusammenhange mit der allgemeinen Geschichte betrachten. Eine von diesen Gesichtspunkten ausgehende Darstellung des Entwicklungsganges der Naturwissenschaften ist, von Whewell abgesehen, wohl kaum versucht worden. Wenn

ein einzelner sie unternimmt, so muß er in mancher Beziehung um Nachsicht bitten. Eine Teilung der Arbeit unter viele erschien aber nicht angängig, wenn etwas Ganzes entstehen sollte.

Nicht nur dem Historiker, sondern auch dem Fachmanne, der ein Einzelgebiet bearbeitet, dem Lehrenden, dem Techniker, dem Arzte und jedem, der sich für die Naturwissenschaften lebhafter interessiert, dürfte damit gedient sein, ein Werk zu besitzen, das einen Gedanken zu verwirklichen sucht, dem der Altmeister der historischen Forschung, Leopold von Ranke, im fünften Bande seiner deutschen Geschichte Ausdruck verleiht. Ranke schreibt dort, es müsse ein herrliches Werk sein, einmal die Teilnahme, welche die Deutschen an der Fortbildung der Wissenschaften genommen, im Rahmen der europäischen Entwicklung mit gerechter Würdigung darzustellen. „Zu einer allgemeinen Geschichte der Nation", fügt Ranke hinzu, „wäre ein solches Werk eigentlich unentbehrlich."

Über dieses von Ranke gesteckte Ziel geht das vorliegende Buch allerdings noch hinaus, da es die Geschichte der Wissenschaften in ihrem ganzen Umfange schildert. Im übrigen dürfte die von Ranke gestellte Aufgabe erfüllt sein, da sich die Geschichte der Wissenschaften in Deutschland nicht anders als im Rahmen der Gesamtentwicklung darstellen läßt. Wenn wir die letztere im Auge behalten, so sind die Naturwissenschaften nicht nur als ein Ergebnis der gesamten Kultur darzustellen, sondern auch in ihren Beziehungen zu den übrigen Wissenschaften, insbesondere zur Philosophie, zur Mathematik, zur Medizin und Technik; und es ist zu zeigen, wie sich diese Zweige des Denkens und der Forschung gegenseitig gefördert und bedingt haben. Von einem Werke, das diese Aufgabe zu erfüllen sucht, darf man keine Vollständigkeit in bezug auf die biographischen und bibliographischen Daten erwarten. Doch sind zumal die letzteren in solchem Umfange aufgenommen worden, daß das Werk zwar nicht als Nachschlagebuch, wohl aber zur Einführung in das Studium der älteren und neueren naturwissenschaftlichen Literatur dienen kann. Um diesem Zwecke zu entsprechen, wird der letzte Band ein ausführliches, sich über alle Teile erstreckendes Literatur-, Sach- und Namenregister bringen. Für die übrigen Bände ist nur ein Namenverzeichnis vorgesehen.

Die Geschichte der Naturwissenschaften ist eine der jüngsten Zweige der historischen Forschung. Infolgedessen ist besonders für die entlegeneren Zeiten vieles noch unaufgeklärt. Manches ist

erst neuerdings mit dem Fortschreiten der archäologischen und der philologischen Untersuchungen bekannt geworden. Es sei nur an die wertvollen Ergebnisse erinnert, die uns die Erschließung der altorientalischen Kultur und die Erforschung der arabischen Literaturschätze gebracht haben. Allerdings sind gerade hier die Urteile noch nicht genügend geklärt, ja häufig genug in wichtigen Punkten einander widersprechend. Für denjenigen, der in zusammenhängender Darstellung die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse im Altertum und Mittelalter schildern will, ergeben sich daraus nicht geringe Schwierigkeiten. Manche Angabe wird bei dem einen auf Zustimmung, bei dem anderen auf Widerspruch stoßen. Das Gleiche gilt von den Ansichten, die wir uns über die Zusammenhänge und Ursachen bilden können. Diese Umstände haben mich aber nicht abgehalten, ein Gesamtbild zu entwerfen und damit eine schon lange angestrebte Aufgabe, deren Bewältigung immer dringender wird, in Angriff zu nehmen. Denn nur in dem Gesamtbilde erhalten die zahllosen Einzelergebnisse der Forschung erst ihren vollen Wert, während sie in ihrer Vereinzelung oft genug geringwertig oder gar bedeutungslos erscheinen. Andererseits ist es demjenigen, der mit einem Blick das große Ganze zu umspannen strebt, nicht wohl möglich, auf allen Einzelgebieten gleich gründliche Vorarbeiten zu machen. Spezialforscher werden in diesem oder jenem Punkte oft genug eines Besseren belehren können. Ebensowenig wie bei dem jetzigen Stande der historischen Forschung eine in allen Teilen unanfechtbare Darstellung möglich ist, ebensowenig kann bei der Verschiedenheit in der Bewertung der Einzelheiten eine lückenlose Schilderung erwartet werden. Ich hoffe, daß man dies bei der Beurteilung der Arbeit gelten läßt und daß das Werk in seiner neuen Gestalt eine ebenso günstige Aufnahme erfährt, wie die beiden ersten Auflagen.

Friedrich Dannemann.

Inhalt.

1. In Asien und in Ägypten entstehen die Anfänge der Wissenschaften.

Den ersten naturwissenschaftlichen und mathematischen Lehrgebäuden, die in der Blütezeit des griechischen Geisteslebens entstanden, gingen ungemessene Zeiträume voraus, in denen die einfachsten Überlegungen und Beobachtungen, die Grundlagen aller Wissenschaft, teils zufällig, teils auch schon mit bestimmter Absicht angestellt, selten aber nach ihrem Werte gesichtet und aufgezeichnet wurden. Aus dieser Periode stammende Urkunden sind deshalb höchst spärlich, so daß sich die Wurzeln der Naturwissenschaften wie so mancher anderer Betätigungen des menschlichen Geistes, im Dunkel vorgeschichtlicher Zeiten verlieren. Soviel ist jedoch gewiß, daß wir diese Wurzeln nicht in Griechenland zu suchen haben, wo uns die ersten wissenschaftlichen Systeme entgegentreten. In den Niederungen des Nils und des Euphrats, den ältesten Stätten der Kultur, haben sich auch die ersten Kenntnisse entwickelt, die sich über die Ergebnisse der oberflächlichen Betrachtung und der naiven Anschauung erhoben. Durch die Berührung mit den in Ägypten und in Vorderasien entstandenen Elementen entzündete sich alsdann der prometheische Funke, welcher in den Griechen schlummerte. Ihnen gelang es, diese Elemente nicht nur in sich aufzunehmen, sondern sie durch eigenes Forschen zu vervielfältigen und den Baum der Erkenntnis zu pflanzen, der nach einer langen Zeit der Dürre zu dem gewaltigen Stamme erwuchs, von dem die Segnungen der heutigen Kultur in erster Linie ausgegangen sind.

Die Entwicklung der Naturwissenschaften ist seit der frühesten Zeit mit derjenigen des mathematischen Denkens Hand in Hand gegangen. Auch in dieser Hinsicht sind die ersten Regungen auf die Ägypter und Babylonier zurückzuführen.

War man in früheren Jahrhunderten bezüglich dieser beiden Völker fast nur auf die uns durch die griechische und römische Literatur übermittelten, zum Teil recht zweifelhaften Berichte angewiesen, so hat unser Zeitalter, indem es den Schutt von den Ruinen Ägyptens und Mesopotamiens wegräumte und die alten Schriftzeichen entziffern lernte, die Geschichte, die Kenntnisse, ja die gesamte Kultur jener ältesten Völker aus dem Dunkel und der Vergessenheit nach Jahrtausenden ans Licht gebracht.

Zwar ist die Kultur im Osten und im Süden Asiens vielleicht ebenso früh entstanden wie diejenige, die in den Tälern des Nils und des Euphrats emporblühte. Dennoch wird eine Geschichte der gesamten exakten Wissenschaften auf Indien und China nur wenig Rücksicht zu nehmen brauchen, weil die dort wohnende Bevölkerung sehr abgeschlossen lebte und infolgedessen auf die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse in Vorderasien und Europa nur geringen Einfluß gehabt hat.

Wenden wir uns daher zunächst den Ägyptern zu, dem Volke, das wohl die älteste Literatur und die ersten mathematischen, naturwissenschaftlichen und medizinischen Kenntnisse hervorbrachte. Die griechische Überlieferung[1]), nach welcher die Ägypter von Süden her aus Äthiopien in das Niltal eingewandert seien, hat der neueren anthropologischen und Altertumsforschung gegenüber nicht Stand gehalten. Wir müssen vielmehr annehmen, daß die alten Ägypter protosemitischen Ursprungs, also mit den Babyloniern durch Abstammung verwandt waren[2]). Darauf weisen nicht nur sprachliche Eigentümlichkeiten, sondern auch der Umstand hin, daß die Kultur sich in Ägypten von der Mündung aus stromaufwärts ausgebreitet und die schwarze äthiopische Menschenrasse allmählich zurückgedrängt hat.

Der fruchtbare, zu beiden Ufern des Niles sich durch die Wüste hinziehende Streifen Landes, der das eigentliche Ägypten bildet, erwies sich in der Hand der geistig höher begabten Ankömmlinge als ein für die Entwicklung einer hohen Kultur vortrefflich geeigneter Boden. Zuerst erblühte jene alte Kultur in Memphis, in dessen Mauern die Wissenschaften gepflegt wurden und die Künstler Meisterwerke hervorbrachten. Die höchste Blüte erreichte die ägyptische Kultur, nachdem um das Jahr 1600 v. Chr. das neue Reich mit der Hauptstadt Theben gegründet war. In der

---

1) Diodor, III. 3—8.

2) Siehe auch Wiedemann, Ägyptische Geschichte 1884. S. 22,.

Nähe der beiden Hauptplätze entstanden in der Wüste monumentale Begräbnisstätten, welche den Wechsel der Zeiten in solchem Maße überstanden haben, daß durch die neuere archäologische Forschung, wie einer ihrer Hauptvertreter sagt[1]), nach und nach das ganze alte Ägypten wieder emporsteigt und im vollen Lichte der Geschichte erscheint, so daß die Menschen jener entlegenen Zeiten für uns gleiche Wirklichkeit erhalten wie die alten Griechen und Römer.

Der Gründung der ersten ägyptischen Dynastie, welche um 4500 v. Chr. durch Mena (Menes) erfolgte, müssen schon ausgedehnte Zeiträume einer ruhigen Entwicklung vorausgegangen sein, da uns schon während der ersten Dynastien, deren die ägyptische Geschichte bis zum Beginn der griechischen Herrschaft insgesamt dreißig zählt, eine hochentwickelte Kultur entgegentritt. Dies spricht sich sowohl in den erhaltenen Baudenkmälern, wie in den schriftlichen Überlieferungen jenes Zeitraumes aus. So sind die während der vierten Dynastie von Chufu, Chafra und Menkera errichteten großen Pyramiden nicht nur wahre Wunder der Baukunst, sondern die ganze Anlage dieser, im 4. Jahrtausend v. Chr. Geburt entstandenen Werke weist auf astronomische und mathematische Kenntnisse hin, die man in solch altersgrauer Zeit kaum vermuten sollte. So sind die vier Seiten der Pyramiden genau nach den Hauptḥimmelsgegenden gerichtet, während der Winkel, den die Seitenwände mit der Grundfläche bilden, wenig oder gar nicht von 52^0 abweicht, eine Tatsache, die, wie wir später sehen werden auf elementare Kenntnisse in der Trigonometrie und Ähnlichkeits, lehre hinweist.

Daß für die Anlage der altägyptischen Bauwerke häufig astronomische Gesichtspunkte maßgebend waren, beweist uns auch die Lage mancher Tempel. So ist durch den englischen Astronomen Lockyer ein Tempel bekannt geworden, der gegen den Aufgangspunkt des von den Ägyptern als Gottheit verehrten Sirius gerichtet ist[2]). Nach Lockyer weist die Achse eines anderen Tempels auf den Punkt, an welchem die Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende unterging. Bei der gewaltigen Länge des Tempels vermochten die Sonnenstrahlen nur an diesem einen Zeitpunkt des

[1]) G. Maspero, Geschichte der morgenländischen Völker im Altertum. Leipzig 1877. S. 63.

[2]) Zeitschrift der morgenländischen Gesellschaft. 1904. S. 386. Der heliakische Aufgang des Sirius fiel mit dem Beginn der Nilschwelle zusammen.

1*

Jahres durch den ganzen Tempel hindurch zu scheinen. Auf solche Weise wurden die Tempel zu astronomischen Observatorien, welche eine genaue Bestimmung der Jahreslänge ermöglichten [1]).

Aus den ägyptischen Baudenkmälern läßt sich auch ermitteln, wann die Bewohner des Nillandes mit der Sechsteilung des Kreises bekannt wurden. Bis zur Zeit der 18. Dynastie begegnen uns nämlich nur Verzierungen, die auf der Vierteilung des Kreises beruhen. Mit der 19. Dynastie tritt an Ornamenten und an Wagenrädern die Teilung nach der Sechs auf. Nun ist bekannt geworden, daß um jenen Zeitpunkt, als Vorderasien den Ägyptern tributpflichtig wurde, Geschenke an den Hof der Pharaonen gelangten, welche die Sechs- und Zwölfteilung des Kreises aufweisen [2]). Wir können also an diesem Beispiel verfolgen, auf welchen Wegen die Kenntnisse von Volk zu Volk übermittelt wurden.

Für die außerordentlich frühe Verwendung von Schriftzeichen spricht der Umstand, daß die ältesten Dynastien schon Pergamentrollen sammelten. Im 3. Jahrtausend v. Chr. gab es schon besondere Beamte, welche die Bibliotheken verwalteten. Ja, ein Sohn des Mena, des Begründers der ersten Dynastie, wird schon als Verfasser medizinischer Schriften erwähnt [3]).

Die ägyptische Bilder- oder Hieroglyphenschrift tritt uns auf den älteren ägyptischen Denkmälern als etwas Fertiges entgegen. Offenbar ist sie aber das Erzeugnis einer langen vorgeschichtlichen Entwicklung. Nicht nur Gegenstände, sondern auch abstrakte Begriffe und Zeitwörter vermochte diese Schrift zum Ausdruck zu bringen. Ohne Verkürzung und Vereinfachung finden wir die Hieroglyphen [4]) nur auf Steindenkmälern, deren sorgfältig bearbeitete Flächen jeden Beschauer in Erstaunen setzen. Für den täglichen Gebrauch wurden die Zeichen in solchem Grade vereinfacht, daß

---

1) Nach Nissen und Lockyer. Siehe die Abhandlung Charliers i. d. Zeitschr. der morgenl. Gesellschaft. 1904. S. 386 u. f. Danach wiederholte sich ähnliches bei den älteren christlichen Kirchen. Ihre Achse wurde mitunter gegen den Punkt des Horizontes gerichtet, an welchem die Sonne am Gedenktage des Heiligen der betreffenden Kirche unterging. Charlier will auf diese Weise das Alter von Kirchen auf astronomischem Wege bestimmt haben.

2) M. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Bd. I. (1880) S. 59.

3) G. Maspero, Geschichte der morgenländischen Völker im Altertum. Übersetzt von R. Pietschmann. Leipzig 1877. S. 54.

4) Um ihre Entzifferung hat sich zuerst Thomas Young und später Champollion die größten Verdienste erworben.

ihre ursprüngliche Form kaum wieder zu erkennen ist. So entstand die sogenannte hieratische Schrift.

Indes nicht nur von den Geschehnissen, der Tracht und den Gebräuchen, sondern auch von dem Wissen jener ersten Kulturperiode können wir uns auf Grund der aus den Nekropolen von Memphis nnd Theben herrührenden Funde heute ein ziemlich zutreffendes Bild machen.

Daß schon zur Zeit des alten Reiches in Ägypten eine umfangreiche Literatur bestand, kann mit Sicherheit angenommen werden. Besaß doch, wie aus einer Grabinschrift bei Gizeh hervorgeht, ein Großwürdenträger, der um 2200 v. Chr. lebte, den Titel „Verwalter des Bücherhauses“[1]). Von jener ältesten Literatur sind jedoch nur spärliche Bruchteile erhalten geblieben. Neben religiösen, moralphilosophischen und geschichtlichen Schriften umfaßte diese Literatur auch Abhandlungen über Astronomie, Mathematik und Medizin, welche die Grundlagen für spätere vollständigere, auf uns gekommene ägyptische Schriftdenkmäler bildeten.

Nach einer Erzählung Herodots[2]) entsprang für die Ägypter die Notwendigkeit, die Geometrie zu erfinden, dem Umstande, daß die Grenzen ihrer Ländereien durch die jährlichen Überschwemmungen des Nils verwischt wurden und deshalb durch Vermessung wiederhergestellt werden mußten. Welche Bewandtnis es auch mit diesem Bericht des griechischen Geschichtsschreibers haben mag, jedenfalls ist die Geometrie der frühesten Kulturvölker aus den Bedürfnissen des Lebens hervorgegangen. Die Ansicht, daß sie einem idealistischen Drange entsprungen sei, dürfte nur für die späteren Entwicklungsstufen zutreffen[3]). Für das ehrwürdige Alter der Mathematik in Ägypten spricht auch die von dort stammende älteste Urkunde dieser Wissenschaft[4]). Es ist dies eine Art Handbuch für den praktischen Gebrauch, das um das Jahr 1800 v. Chr. verfaßt wurde und neben zahlreichen arithmetischen Aufgaben, bei denen schon die Bruchrechnung Anwendung findet, auch die erste

[1]) Lepsius, Denkm. II. 50.

[2]) Herodot II. 109.

[3]) H. Hankel, Die Entwicklung der Mathematik in den letzten Jahrhunderten.

[4]) Der Papyrus Rhind des Britischen Museums in London, den der Schreiber Ahmes des Hyksoskönigs Ra-a-us verfaßte. Die Entstehung dieser Schrift fällt zwischen 1700 und 2000 v. Chr. Das Dokument wurde übersetzt und erläutert herausgegeben von Eisenlohr, Leipzig 1877. Eine eingehende Besprechung seines Inhalts findet sich in M. Cantors Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, Leipzig 1880. Bd. I. S. 19—52.

Behandlung arithmetischer und geometrischer Reihen, Flächenberechnungen der einfacheren Figuren, wie sie für die Absteckung der Felder in Betracht kommen, sowie die Bestimmung des Rauminhalts von Fruchtspeichern enthält. Sogar der Flächeninhalt des Kreises wird in diesem Papyrus berechnet. Dies wird in der Weise bewerkstelligt, daß man über dem um $^1/_9$ verminderten Durchmesser ein Quadrat errichtet. Hieraus läßt sich für π der überraschend genaue Wert 3,16 (statt 3,14) berechnen.

Bezeichnend sind die Worte, mit denen Ahmes sein Handbuch einleitet. Sie lauten: „Vorschrift, zu gelangen zur Kenntnis aller dunklen Dinge und Geheimnisse, welche in den Gegenständen enthalten sind." Sie erinnern an die $1^1/_2$ Jahrtausend später auftretenden Pythagoreer, welche auch Zahl und Maß als wirkliche, in den Dingen geheimnisvoll schlummernde Wesen betrachteten. Auf das außerordentlich hohe Alter der Mathematik in Ägypten läßt sich übrigens auch daraus schließen, daß Ahmes in seiner Einleitung ausdrücklich sagt, er habe sein Buch nach alten Schriften verfaßt, die zur Zeit eines früheren Königs enstanden seien. Diese Schriften waren, wie aus jener Zeitangabe hervorgeht, etwa 500 Jahre älter als das Buch des Ahmes und setzen ihrerseits wieder eine lange Periode voraus, in welcher die niedergelegten Kenntnisse langsam erwuchsen, ohne schriftlich festgelegt zu werden.

Ohne Zweifel hat man, da das Rechnen aus den Bedürfnissen des Lebens entsprungen ist, zuerst mit benannten Zahlen gerechnet und ist erst später zu abstrakten Zahlen übergegangen. Das Rechnen mit diesen stand, wie der Papyrus Rhind beweist, im 20. Jahrhundert v. Chr. bereits auf einer Höhe, wie man sie vor dem Bekanntwerden jener wichtigen Urkunde nicht vermuten konnte [1]).

Ahmes setzt das Rechnen mit ganzen Zahlen voraus und befaßt sich in seinen Aufgaben unter Anwendung der Brüche besonders mit dem, was wir heute Gesellschaftsrechnung nennen. Die von ihm benutzten Brüche sind Stammbrüche, d. h. solche, die eins als Zähler haben. Einen Stammbruch schreibt er, indem er über die Zahl des Nenners einen Punkt setzt. Jeder andere Bruch wird als Summe von Stammbrüchen ausgedrückt, z. B. $^2/_5$ durch $^1/_3$ und $^1/_{15}$, die ohne Additionszeichen nebeneinander gesetzt werden. Die Darstellung eines beliebigen Bruches durch Stammbrüche stellt deshalb Ahmes auch an die Spitze.

---

1) J. Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. I. S. 52.

Um Brüche, die keine Stammbrüche sind, in Summen von Stammbrüchen zu verwandeln, gibt Ahmes eine Tafel der Brüche[1]) von der Form $\frac{2}{2n+1}$ ($n = 1, 2, 3 \ldots 49$). Brüche mit höherem Zähler werden in eine Summe gleichnamiger Brüche zerlegt. An solchen Stammbruchsummen werden die Grundrechnungsarten vollzogen.

Manche Aufgabe, die Ahmes bringt, stellt sich als eine Gleichung ersten Grades mit einer Unbekannten dar. Letztere wird als Haufen bezeichnet. So lautet ein Beispiel: „Haufen, sein $^2/_3$, sein $^1/_2$, sein $^1/_7$, sein Ganzes, es beträgt 33.“ Das heißt nach heutiger Schreibweise: $^2/_3\,x + {}^1/_2\,x + {}^1/_7\,x + x = 33$. Um x zu finden, wird dann ($^2/_3 + {}^1/_2 + {}^1/_7 + 1$) so lange vervielfältigt, bis 33 herauskommt. Als weiteres Beispiel sei eine von den Aufgaben aus der Gesellschaftsrechnung mitgeteilt. Sie lautet: „Zu verteilen 700 Brote unter vier Personen, $^2/_3$ für einen, $^1/_2$ für den Zweiten, $^1/_3$ für den Dritten, $^1/_4$ für den Vierten.“ Als Gleichung geschrieben würde die Aufgabe in der Ausdrucksweise der heutigen Arithmetik lauten: $^2/_3\,x + {}^1/_2\,x + {}^1/_3\,x + {}^1/_4\,x = 700$. Der Wert für x wird dann nach folgender Vorschrift gefunden: Addiere $^2/_3$, $^1/_2$, $^1/_3$ und $^1/_4$; das gibt $1 + {}^1/_2 + {}^1/_4$. Teile dann 1 durch $1 + {}^1/_2 + {}^1/_4$ das gibt $^1/_2 + {}^1/_{14}$. Nimm dann $^1/_2$ und $^1/_{14}$ von 700; das ergibt 400 für x.

Außer der Hieroglyphe für die Unbekannte (unser x) besaßen die alten Ägypter noch einige andere Operationszeichen. Z. B. galt ein Zeichen, welches schreitende Beine darstellt, je nach der Richtung als Zeichen für die Addition oder als solches für die Subtraktion. Auch für die Gleichsetzung war ein Zeichen vorhanden. Bekannt war auch schon der Begriff der Wurzel. Bis vor kurzem nahm man an, daß die alten Ägypter diesen Begriff nicht kannten. Neuerdings sind aber Papyrusfragmente (aus der 12. Dynastie) bekannt geworden, in denen sich vermerkt findet, daß $\sqrt{16} = 4$, $\sqrt{6^1/_4} = 2^1/_2$ und $\sqrt{1^9/_{16}} = 1^1/_4$ ist[2]).

Das Verfahren des Wurzelziehens dagegen ist wahrscheinlich erst in der pythagoreischen Schule entwickelt worden, als man größere Quadratzahlen bildete deren Grundzahl nicht ohne weiteres ersichtlich war, vor allem aber, als es galt, nach dem pythagoreischen Lehrsatz die Hypotenuse aus den Katheten zu berechnen.

1) Eisenlohr, Ein mathematisches Handbuch der alten Ägypter (2. Ausgabe). S. 46—48.

2) Graf Schak im 38. und 40. Band der Zeitschrift für ägyptische Sprache.

Ferner begegnen uns Gleichungen wie die fogenden:

$$2^2 + (1\,{}^1/_2)^2 = (2\,{}^1/_2)^2$$
$$6^2 + 8^2 = 10^2.$$

Endlich sind Papyrusrollen aus der Zeit um 2000 v. Chr. bekannt geworden, in denen sich Anweisungen über die Festlegung der Wandrichtungen bei Tempelbauten finden. Das Verfahren bestand im „Seilspannen“, das heißt, man teilte ein Seil im Verhältnis 3 : 4 : 5 und bildete aus diesen Stücken ein Dreieck, um so den gesuchten rechten Winkel zu erhalten. Darauf stützt sich die Ansicht, daß der pythagoreische Lehrsatz wohl auf ägyptische Anregungen zurückzuführen sei [1]).

Ganz geschickt waren die Ägypter, wie aus dem Handbuch des Ahmes hervorgeht, auch schon in der Lösung von Aufgaben, welche auf die Anwendung von arithmetischen und geometrischen Reihen hinauslaufen. Auch hier mögen einige Beispiele uns mit den ersten Schritten auf diesem Gebiete bekannt machen. Ahmes stellt die Aufgabe, 100 Brote an 5 Personen in arithmetischer Progression so zu verteilen, daß die zwei ersten Personen, welche die geringeren Anteile erhalten, zusammen $^1/_7$ von dem bekommen, was auf die 3 übrigen Personen entfällt. Ahmes setzt zunächst das kleinste Glied gleich 1 und sagt dann ohne Begründung: „Mache, wie geschieht, den Unterschied gleich $5\,{}^1/_2$.“ So erhält er die arithmetische Reihe: 1, $6\,{}^1/_2$, 12, $17\,{}^1/_2$, 23. Sie genügt zwar der Bedingung, daß die Summe der beiden ersten Glieder gleich $^1/_7$ von der Summe der drei letzten ist. Indessen enthält diese Reihe statt der gegebenen 100 nur 60 Einheiten. Da aber 100 das $1\,{}^2/_3$ fache von 60 ist, verbessert Ahmes den unrichtigen, aber auch nur vorläufigen Ansatz, indem er jedes Glied der Reihe mit $1\,{}^2/_3$ multipliziert. Er findet so ganz richtig die allen Bedingungen entsprechende Reihe $1\,{}^2/_3$, $10\,{}^5/_6$, 20, $29\,{}^1/_6$, $38\,{}^1/_3$.

Bei einer anderen Aufgabe schimmert schon die Kenntnis der Summierungsformel [2]) für die geometrische Reihe durch. Als Summe der fünf ersten Potenzen von sieben: 7 + 49 + 343 + 2401 + 16 807 wird 19 607 gefunden. Dies geschieht nicht nur durch Addition, sondern indem Ahmes das Produkt von 2801 und 7 bildet. Letzteres Verfahren steht nun in auffallender Überein-

1) Cantor, Über die älteste indische Mathematik (Archiv für Mathematik und Physik. 8. Bd. 1904).

2) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathemathik Bd. I, (1880) S. 37.

stimmung mit der Summenformel $s = \frac{a^n - 1}{a - 1} \cdot a$. Denn für den vorliegenden Fall ist $\frac{a^n - 1}{a - 1} \cdot a = \frac{7^5 - 1}{6} \cdot 7 = 2801 \cdot 7$.

Vergegenwärtigt man sich die Wunder der Ingenieur- und Baukunst, welche die alten Ägypter schufen, sowie ihre, von Herodot erwähnten Kenntnisse in der Vermessungskunde, so muß man annehmen, daß die Geometrie bei diesem Volke nicht minder wie das Rechnen gepflegt wurde.

Höchst wahrscheinlich gab es auch für die Geometrie schon Lehrbücher von der Art, wie uns der Zufall ein solches in dem Handbuch des Ahmes für die Arithmetik in die Hände gespielt hat. Leider ist ein ausschließlich der Geometrie gewidmeter Papyrus bisher noch nicht entdeckt worden. Indessen hat sich das Handbuch des Ahmes auch für die Kenntnis des geometrischen Wissens der Ägypter als eine Fundgrube erwiesen[1]). In welcher Weise die Fläche des Kreises berechnet wurde, haben wir schon erwähnt. Hier sei noch ein Beispiel für die Dreiecksberechnung mitgeteilt. Es handelt sich um ein gleichschenkliges Dreieck, dessen Schenkel 10 und dessen Grundlinie 4 Maßeinheiten lang sind. „Die Hälfte von 4 wird mit 10 vervielfältigt; sein Flächeninhalt ist es.“ So lautet die Lösung bei Ahmes[2]). Eine Begründung dieses Verfahrens, das ja zwar kein richtiges, indessen, wenn die Basis verhältnismäßig klein ist, ein von der Wahrheit nur wenig abweichendes Ergebnis liefert, findet sich bei Ahmes nicht. Seiner Lösung liegt die Formel $\frac{b}{2} \cdot a$ zugrunde (s. Abb. 1), während die richtige Formel $\frac{b}{2} \cdot \sqrt{a^2 - \frac{b^2}{4}}$ lautet. Letztere läuft also auf die Ausziehung einer Quadratwurzel hinaus, ein Verfahren, das bei Ahmes nirgends vorkommt, und das er vermutlich auch nicht kannte, so daß wir eine genaue Berechnung des Flächeninhalts von ihm auch nicht erwarten dürfen.

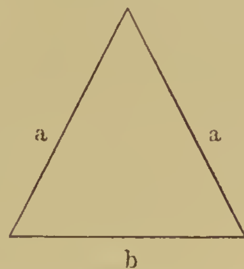


Abb. 1.

Handelte es sich um die Ausmessung weniger einfacher Figuren, so bedienten sich die Ägypter des Verfahrens der Zerlegung durch

[1]) Cantor, I. S. 46.

[2]) Eisenlohr, Papyrus. S. 125.

Hilfslinien. So hat man alte Zeichnungen gefunden, in denen das Paralleltrapez auf mehrfache Weise zerlegt ist (s. Abb. 2).

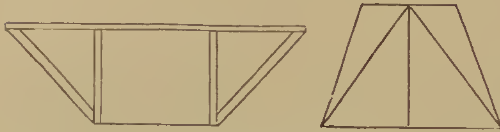


Abb. 2. Geometrische Elemente in altägyptischen Verzierungen[3]).

In den Geräten und Zieraten, die auf der Kreisteilung beruhen, kommt die Teilung in 4 und 8, sowie in 6 und 12 Sektoren vor, während man einer Teilung in 5 und 10 Sektoren nicht begegnet[1]).

Nicht nur mit Flächen- und Inhaltsbestimmungen, sondern auch mit Streckenverhältnissen und den Eigenschaften der Winkel waren die Ägypter zur Zeit des mittleren Reiches schon bis zu einem gewissen Grade vertraut. Auch die Konstruktion des rechtwinkligen Dreiecks aus den Strecken 3, 4 und 5 scheint ihnen schon sehr früh bekannt gewesen zu sein, wenn sie auch nicht durch mathematische Ableitung, sondern als Erzeugnis der Erfahrung in ihren Besitz gelangt sein werden[2]).

Um die große Genauigkeit zu erklären, die uns bei den Pyramiden nicht nur in den Abmessungen des ganzen Bauwerkes, sondern auch in der Bearbeitung der einzelnen Steine begegnet, muß man bei den alten Ägyptern schon einige Bekanntschaft mit den Grundlehren der Ähnlichkeitslehre und der Trigonometrie voraussetzen. Dafür sprechen auch die Abschnitte, die Ahmes in seinem Handbuch dem Pyramidenbau widmet. In diesen Abschnitten begegnet uns nämlich ein Ausdruck[4]), der wahrscheinlich das Verhältnis der halben Diagonale zur Seitenkante der Pyramide bedeutet, also dem Cosinus des Winkels, den diese beiden Linien bilden, entsprechen würde. Dieses oder ein entsprechendes Verhältnis muß den Bauleitern und Steinmetzen stets gegenwärtig gewesen sein, da sich die genaue Übereinstimmung der Winkel, welche die Kanten mit dem Erdboden bilden, sonst nicht erklären läßt.

In Anbetracht dieser frühen Entwicklung der Geometrie muß es auffallen, daß die Ägypter keine Kenntnis vom perspektivischen Zeichnen besaßen, wie aus ihren Reliefs und Wandgemälden, die in so großer Fülle und in solch vortrefflichem Zustande auf unsere Zeit gelangt sind, zur Genüge hervorgeht.

---

1) M. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Bd. I. S. 59.
2) Cantor, a. a. O. Bd. I. S. 59. Siehe auch oben S. 8.
3) Cantor, Bd. I. S. 58. Abb. 6 u. 7.
4) Er lautet Seqt. Siehe Cantor Gesch. d. Math. Bd. I. S. 52, sowie Eisenlohr a. a. O. S. 135 (Anm. 3).

Das Handbuch des Ahmes beweist, daß die Mathematik fast zwei Jahrtausende vor Beginn unserer Zeitrechnung in Ägypten schon eine hohe Entwicklungsstufe erreicht hatte. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß sich in diesem Dokument manche Fehler finden, welche die Vermutung nahe legen, daß es sich hier nur um eine Schülerarbeit handelt. An die Mathematik der Ägypter haben zunächst die Griechen angeknüpft. Die ägyptische Stammbruchlehre läßt sich sogar über die Zeit der Araber hinaus, bis in das deutsche Mittelalter verfolgen. Ferner ist die Beweisform des Euklid, der wir noch heute folgen, ägyptischen Mustern nachgebildet[1]).

Viel später als die Kultur der alten Ägypter ist diejenige der Babylonier auf Grund der archäologischen Durchforschung ihres Landes bekannt geworden. Auch hier lieferten die zwischen den Ruinen untergegangener Städte und Gräberfeldern aufgehäuften oder verschütteten Trümmer eine bei weitem zuverlässigere und wertvollere Ausbeute als die auf uns gekommene, die Babylonier betreffende Literatur.

Das älteste Kulturvolk Mesopotamiens, von dem wir Kenntnis besitzen, sind die Sumerer. Man nimmt an, daß sie zur mongolischen Rasse im weiteren Sinne gehörten. Es würde danach ein gewisser Zusammenhang zwischen der ältesten ostasiatischen und der ersten Kultur Vorderasiens bestanden haben[2]). Der Beginn der letzteren wird bis in das 5. Jahrtausend v. Chr. zurückdatiert.

Um das Jahr 3000 drang ein Volk semitischer Abstammung in Mesopotamien ein. Bis in jene Zeit hinauf besitzen wir geschriebene Urkunden, die allerdings über die Eroberung selbst nichts besagen[3]). Wie in Ägypten, entstanden zuerst einzelne kleine Reiche, die später vereinigt wurden. Als der älteste König des gesamten Babyloniens wird der um 2200 v. Chr. lebende Hammurabi genannt.

Wie später in Europa das Lateinische, so blieb in Vorderasien das Sumerische als die Sprache des älteren Kulturvolkes lange Zeit erhalten und für wissenschaftliche Zwecke im Gebrauch. Die frühzeitige, hohe Entwicklung des geistigen Lebens der Babylonier erkennen wir daraus, daß dieses Volk sich schon gegen das Ende

[1]) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik I. S. 74.

[2]) Andere halten es für wahrscheinlich, daß die Sumerer der nordeuropäischen Rasse angehören.

[3]) Siehe „Der alte Orient. I.“, herausgegeben von der vorderasiatischen Gesellschaft.

des dritten Jahrtausends v. Chr. mit grammatischen Studien, wichtigen Rechtsfragen und vor allem mit der aufmerksamen Erforschung der Naturerscheinungen beschäftigte.

Daß die Beziehungen des babylonischen Reiches bis nach Ägypten reichten, beweisen die aus dem 16. Jahrhundert v. Chr. stammenden Tel Amarna[1])-Funde, unter denen sich Briefe des Königs von Babylonien an den ägyptischen Herrscher Amenophis IV. befinden. Neben dem babylonischen und dem ägyptischen bestand in Kleinasien das Reich der Hettiter (Chatti)[2]). Daß auch Griechenland mit dem alten Orient in engen Beziehungen stand, hat die neuere archäologische Forschung gleichfalls dargetan. Die Vermittlung erfolgte insbesondere durch die Phönizier, die bis zum Jahre 1300 v. Chr. im Besitz von Kreta waren und damals das ägäische Meer beherrschten.

Um 1300 v. Chr. eroberten die Assyrer das Zweistromland. Sie haben die Kultur des Landes durch ausgedehnte Bewässerungsanlagen gehoben, über die uns Herodot berichtet hat[3]). Nicht minder wurde die Wissenschaft gepflegt. Besonders seit der Zeit des Assyrerkönigs Sardanapal (7. Jahrh. v. Chr.) entwickelt sich die Astrologie zur astronomischen, auf steten und genauen Beobachtungen fußenden Wissenschaft. Mit der Entdeckung der Bibliothek dieses Königs gelangten auch die Kopien eines großen babylo-

[1]) Ort zwischen Kairo und Theben, wo die betreffenden Keilschrifttafeln entdeckt wurden. Sie befinden sich zum Teil im Museum der vorderasiatischen Altertümer in Berlin. In einem der Briefe (um 1400 v. Chr.) findet sich die erste Erwähnung Jerusalems. Die Berliner Sammlung enthält auch zahlreiche Tafeln der ältesten babylonischen Zeit (3000 v. Chr.). Bei ihrer Auffindung waren die Schriftzüge durch Auflagerungen unkenntlich; nach Anwendung verschiedener Reinigungsverfahren traten sie mit voller Deutlichkeit hervor. Erwähnenswert ist auch ein sumerisch-babylonisches Wörterbuch.

Von den Tel-Amarna-Tafeln gelangten etwa 200 nach Berlin; die wertvollsten sind in London. Siehe auch C. Niebuhr, Die Amarna-Zeit. „Der alte Orient“ I. 2. Heft. Berlin 1899.

[2]) Hettische Schriftdenkmäler wurden in Nordsyrien und in Boghaz-Kiri (Kappadozien) gefunden. Sie bilden einen Teil der Berliner Sammlung vorderasiatischer Altertümer. Ihre Entzifferung ist bis jetzt nur teilweise gelungen. Die Hettiter haben Bedeutendes auf dem Gebiete der Metallurgie geleistet. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß von ihnen metallurgische Kenntnisse, z. B. die Art der Gewinnung des Eisens nach Ägypten und nach Babylonien gelangt sind (E. Reyer, Altorientalische Metallurgie, Zeitschrift der orientalischen Gesellschaft. 1884. S. 149).

[3]) Merkel, „Die Ingenieurtechnik des Altertums“ enthält darüber und über den Wasserbau der übrigen alten Völker (Chinesen, Griechen, Römer) das Nähere.

nischen Werkes über Astrologie ans Tageslicht[1]), das seitdem die wichtigste Quelle für die astronomischen Kenntnisse der älteren babylonischen Zeit bildet.

Die in Ninive, Babylon und an anderen Stätten in neuerer Zeit durch die Ausgrabungen der Engländer, Amerikaner und neuerdings auch der Deutschen in großer Menge an das Tageslicht geförderten Schriftdenkmäler sind erhärtete Tontafeln, auf denen die Schriftzüge als keilförmige Eindrücke eingeritzt sind.

Ihre Entzifferung gelang erst, seitdem man (1835) mehrsprachige Texte entdeckte. Heute sind Hunderttausende von Keilschrifttafeln zutage gefördert[2]). Eine vollständige Bibliothek von über 20000 Tafeln entdeckte schon Layard.

Für die Kenntnis der ältesten Entwicklung der Mathematik sind die sogenannten „Nippurtexte“ von großer Wichtigkeit. Sie umfassen etwa 50000 Keilschrifttafeln, die in dem Tempel zu Nippur aufbewahrt und durch eine amerikanische Expedition ans Tageslicht gefördert wurden. Der Fund ist von ähnlicher Bedeutung, wie die in London aufbewahrte, 20000 Tafeln umfassende Bibliothek Sardanapals. Die „Nippurtafeln“ sind um die Zeit von 2200—1350 v. Chr. entstanden, während die Bibliothek Sardanapals viel jüngeren Datums ist (nach 700 v. Chr.). In Nippur wurden, wie die Texte bezeugen, nicht nur Mathematik, sondern auch Astronomie und Heilkunde betrieben. Die mathematischen Texte sind auch deshalb von großem Wert, weil sie etwa zur selben Zeit niedergeschrieben wurden, als in Ägypten das erste, uns bekannt gewordene mathematische Handbuch, dasjenige des Ahmes nämlich, entstand[3]). Aus den in Nippur gefundenen Multiplikationstabellen geht hervor, daß die Babylonier das Prinzip des Stellenwertes kannten, allerdings ohne sich der Null zu bedienen.

Es ist anzunehmen, daß die Keilschrift in ähnlicher Weise aus einer hieroglyphischen oder Bilderschrift entstanden ist, wie es mit der hieratischen Schrift der Ägypter der Fall war. Durch

[1]) F. X. Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel. Münster 1907. Der Inhalt der astrologischen Keilschriftfunde, wurde im III. Bande des Londoner Inschriftenwerkes veröffentlicht. Die Übersetzung der astronomischen Keilschrifttafeln begann 1874.

[2]) Bezold, Ninive und Babylon, Monographien zur Weltgeschichte. 1903. (mit 102 Abbildungen).

[3]) Die Nippurtexte wurden unter der Oberleitung Hilprechts veröffentlicht: The Babylonian expedition of the university of Pennsylvania, Philadelphia.

Keilstriche wurden auch die Zahlen bezeichnet. Der Vertikalkeil 𒁹 bedeutete die Einheit. Zehn wurde durch zwei einen Winkel bildende Keile ausgedrückt 𒌋 und weitere Zahlen durch Nebeneinanderstellung dieser beiden Elemente gebildet. Für hundert war ein besonderes Zeichen, nämlich ein Vertikalkeil in Verbindung mit einem rechts davon stehenden Horizontalkeil im Gebrauch 𒁹𒀸. Größere Zahlen wurden meist durch Nebeneinanderstellen, aber auch durch Vervielfältigung gebildet, indem die Zahl links von dem Zeichen als Faktor auftritt. Tausend z. B. wurde 𒌋𒁹𒀸, also 10 mal hundert geschrieben. Tausend selbst wird wieder mit Koeffizienten versehen, um größere Zahlen auszudrücken; so daß z. B. 𒌋𒌋𒁹𒀸 nicht etwa 20 mal hundert, sondern 10 mal tausend, also 10000 bedeutet. Es ist also eine Vervielfältigung von Einheiten verschiedener dekadischer Ordnung, die uns bei den Babyloniern begegnet. Auch in der Bibel wird dieses Verfahren, in offenbarer Anlehnung an die babylonische Kultur, zur Abschätzung großer Mengen gebraucht[1]).

Außer der dezimalen Schreibweise findet sich nun merkwürdigerweise eine andere, die auf dem Sexagesimalsystem beruht und mit der Teilung des Kreisumfanges durch Abtragen des Radius, sowie der Einteilung des Jahres in 360 Tage zusammenhing. Die Auffindung und Entzifferung von Keilschrifttafeln hat bewiesen, daß das Sexagesimalsystem von den Babyloniern schon unter Berücksichtigung des Prinzips des Stellenwertes angewandt wurde So enthält eine Tafel, die 1854 bei Senkereh gefunden wurde, die ersten 60 Quadratzahlen in folgender Anordnung:

	1	ist	das	Quadrat	von	1	
	4	„	„	„	„	2	
	9	„	„	„	„	3	
Anstatt	64	„	„	„	„	8	usw.
heißt es aber[2])	1 + 4	„	„	„	„	8	
	1 + 21	„	„	„	„	9	
	1 + 40	„	„	„	„	10	

---

1) Beispiele dafür führt Cantor I. 71 in größerer Zahl auf: So heißt es Samuel I. 18: Saul hat tausend geschlagen, David aber zehntausend. Und an anderer Stelle: Tausend mal tausend dienten ihm (Daniel 7. 10).

2) Auf den Tafeln sind die Zahlen selbstverständlich ohne Zeichen nebeneinander gestellt.

Unter den neubabylonischen Tafeln der Berliner Sammlung findet sich der Grundriß eines größeren Gebäudes. Auf diesem Grundriß sind die Abmessungen durch Zahlen nach dem Sexagesimalsystem verzeichnet, z. B. 11 . 60 + 40 (= 700).

Dies ist nur verständlich, wenn die 1 vor 4, 21 und 40 als sexagesimale Einheit höherer Ordnung, nämlich als 60 aufgefaßt wird.

Ein anderes Täfelchen von Senkereh enthält die Kubikzahlen von 1 bis 32 unter Anwendung des Sexagesimalsystems und des Prinzips des Stellenwertes. Ob für fehlende Einheiten ein besonderes Symbol, also etwas, das der Null entspricht, gebraucht wurde, ist nicht ersichtlich, weil unter den Kubikzahlen von 1 bis 32 keine vorkommt, die nur aus Einheiten der ersten und dritten Stufe zusammengesetzt ist. Neben ganzen, nach dem Sexagesimalsystem gebildeten Zahlen kommen auch Sexagesimalbrüche vor.

Während die Ägypter dem Zähler ihrer Brüche den konstanten Wert 1 beilegten, begegnet uns in den Brüchen der Babylonier der konstante Nenner 60 oder 3600 (60×60). Die Brüche $^1/_2$ oder $^1/_3$ wurden durch $^{30}/_{60}$ oder $^{20}/_{60}$ ausgedrückt und eine der Dezimalbruchform ähnliche Schreibweise benutzt[1]).

Das Sexagesimalsystem adoptierten später die griechischen Astronomen. Ihrem Beispiele folgten die Araber und das Mittelalter, bis endlich im 15. Jahrhundert die dezimale Schreibweise aufkam.

Die für die Geschichte der Mathematik so wichtigen Tafeln von Senkereh dürften etwa um dieselbe Zeit entstanden sein, in welcher das mathematische Handbuch des Ahmes in Ägypten verfaßt wurde. Die Rechenkunst der Chaldäer war aber, nicht nur nach den gefundenen Schriftdenkmälern, sondern auch nach griechischen Quellenschriften zu urteilen, eine uralte. So heißt es bei Theon von Smyrna[2]), die Ägypter hätten bei der Untersuchung der Planetenbewegungen gezeichnet, die Chaldäer dagegen gerechnet, und von diesen beiden Völkern hätten die griechischen Astronomen die Anfänge ihrer Kenntnisse erhalten. Daß indessen auch die geometrischen Kenntnisse der Babylonier nicht gering waren, ist aus ihren Wandzeichnungen und ihrer hochentwickelten Baukunst — wandten sie doch bereits lange vor den Etruskern Bogengewölbe an — zu schließen. So findet sich die Sechsteilung des Kreises als bewußte geometrische Konstruktion; eine Tontafel geometrischen Inhalts enthält sogar die Dreiteilung des rechten Winkels. An die Sechsteilung des Kreises schloß sich ferner die Teilung des ganzen Kreisumfanges in 360 Grade.

Nachdem wir die ersten Anfänge der Mathematik kennen ge-

---

1) Siehe auch Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. I. S. 76.

2) Theo Smyrnaeus (ed. Ed. Hiller). Leipzig 1878. S. 177.

lernt haben, wenden wir uns den frühesten naturwissenschaftlichen Problemen zu, an denen sich das mathematische Denken erproben sollte. Die am Himmel sich abspielenden Vorgänge waren es, die zuerst den Begriff einer gesetzmäßig verlaufenden Erscheinung aufkommen ließen. Es ist daher kein Zufall, daß man sich diesen Vorgängen vor allen anderen mit forschendem Blick zuwandte, und daß die Astronomie neben der Mathematik zu den ersten Betätigungen des menschlichen Geistes gehört, die Anspruch auf den Namen einer Wissenschaft erheben kann. Auch auf diesem Gebiete sind nicht etwa die Griechen die Urheber gewesen, sondern Hand in Hand mit der Entstehung mathematischer Kenntnisse entwickelte sich bei den Ägyptern und den Chaldäern, begünstigt durch die wolkenlose Atmosphäre des Niltals und Mesopotamiens, eine Summe von astronomischen Kenntnissen, welche für die Griechen und die späteren Völker die Grundlage für jeden weiteren Fortschritt geworden sind.

Die frühesten astronomischen Eindrücke, denen sich der Mensch selbst auf der tiefsten Stufe seiner Entwickelung nicht entzogen haben kann, sind die scheinbare tägliche Bewegung der Gestirne, die im steten Wechsel sich wiederholenden Lichtgestalten des Mondes, sowie die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne mit dem dadurch bedingten Kreislauf der Jahreszeiten gewesen. Einer etwas aufmerksameren Beobachtung konnte es nicht entgehen, daß die Mehrzahl der Sterne ihre Stellung zueinander nicht verändert, während die Sonne, der Mond und die bald in die Augen fallenden Wandelsterne an den Fixsternen vorüberziehen.

So unterschieden schon die ältesten ägyptischen Sternkundigen die „nimmer ruhenden“ von den „sich nie rührenden“ Sternen. Zu den ersteren zählten sie Jupiter, Saturn, Mars, den sie seiner Farbe wegen auch den roten Hor nannten, Merkur und Venus. Die Gruppierung der Sterne zu Sternbildern als erste Mittel zur Orientierung am Fixsternhimmel rührt nicht, wie man früher annahm, von den Griechen her. Die Sternbilder entstanden vielmehr, wie die Astronomie überhaupt, im alten Orient.

Ein aus dem ersten nachchristlichen Jahrhundert stammendes ägyptisches Verzeichnis der Planeten und Tierkreisbilder ist vor einigen Jahren bekannt geworden[1]. Es lautet: Das Verzeichnis der fünf lebenden Sterne:

[1] Wilhelm Spiegelberg: Orientalische Literaturzeitung, 1902, S. 6. Es fand sich unter einer großen Menge Ostraka, welche die Straßburger Bibliothek erwarb, und wurde von Spiegelberg entziffert. Der Text ist demotisch.

Horus (Saturn)
Horus, der Rote (Mars)
Stern des Thot (Merkur)
Gott des Morgensterns (Venus)
Stern des Ammon (Jupiter).

Die Tierkreisbilder werden genannt „Die zwölf Sterne für jeden der zwölf Monate". Es gelang, die ägyptischen Benennungen für folgende Tierkreisbilder zu identifizieren: Wage, Stier, Zwillinge, Krebs (?), Löwe, Jungfrau, Schütze (?), Skorpion und Fische.

Schon den ältesten Beobachtern mußte es auffallen, daß hervorragende Fixsterne bald in der Nähe der untergehenden Sonne gesehen werden, dann in ihren Strahlen verschwinden, um nach kurzer Zeit vor der aufgehenden Sonne zu erscheinen, und schließlich wieder in der Nacht zu glänzen.

So gelangte man zu der Erkenntnis, daß die Sonne im Laufe einer Periode, die sich mit demjenigen Zeitraum deckt, innerhalb dessen sich die Jahreszeiten abspielen, einen Umlauf am Himmel vollendet. Diejenigen Sternbilder, durch welche sich das Tagesgestirn dabei hindurchbewegt, nannte man den Tierkreis.

Unter allen Fixsternen schenkten die alten ägyptischen Astronomen dem Sirius die meiste Beachtung. Sie nannten ihn Sopd, woraus die Griechen Sothis gemacht haben. Mit dem helischen Aufgang des Sirius, der mit dem Beginn der Nilschwelle zusammenfiel, ließ man das Jahr anfangen. Man teilte es in zwölf Monate, von denen jeder dreißig Tage zählte[1]). Sternwarten befanden sich in Dendera, Memphis und Heliopolis. Dort wurden alle deutlich sichtbaren Sterne aufgezeichnet und in ihrer Bewegung verfolgt. Von den auf diese Weise entstandenen Tafeln sind nur wenige Trümmer auf uns gelangt. Den Himmel stellte man sich, wie es später der Verfasser der biblischen Schöpfungsgeschichte getan, als eine die Erde umgebende Flüssigkeit vor. Auf dieser ließ man die Gestirne schwimmen. Dementsprechend sehen wir auf ägyptischen Denkmälern jedes Gestirn, durch seinen Genius in Menschen- oder Tiergestalt repräsentiert, in einer Barke hinter dem Sonnengott Osiris herfahren.

Wie die astronomischen Elemente entstanden sind, hat gleichfalls die neuere archäologische Forschung dargetan. Die Astronomie wurde erst dadurch ermöglicht, daß zur Bestimmung von Winkeln

[1]) Der Beginn der ersten ägyptischen Kalenderordnung wird in das Jahr 4241 v. Chr. verlegt. (E. Meyer, Ägypten zur Zeit der Pyramidenerbauer. Leipzig 1908. Sendschrift der deutschen Orientgesellschaft.)

und zur Ausbildung des Ziffernsystems und der Rechenkunst die Zeitmessung hinzutrat. Als die Erfinder eines Verfahrens, die Zeit genauer zu messen und einzuteilen, müssen die Babylonier gelten. Sie bedienten sich dazu der Wasseruhren (Klepshydren)[1].

In dem Augenblicke, in dem sich der obere Rand der Sonnenscheibe am Horizonte zeigte, öffnete man ein mit Wasser gefülltes Gefäß, das durch Zufluß stets gefüllt blieb. Der Abfluß geschah tropfenweise in einen Behälter, und dauerte solange, bis sich der untere Rand der Sonnenscheibe vom Horizonte löste. Von diesem Augenblicke an sammelte man das abtropfende Wasser in einem zweiten, größeren Behälter solange, bis die Sonne am folgenden Morgen wieder aufging. Die Wassermengen in dem kleineren und diejenige in dem größeren Behälter wurden genau gewogen. Sie ergaben nicht nur ein bestimmtes Zeitverhältnis, sondern mit einiger Genauigkeit auch das Verhältnis des scheinbaren Sonnendurchmessers zum ganzen Kreise. Waren die Wassermengen q und Q, so ergab $(Q + q) : q = 360^0 : D$ für den Durchmesser D der Sonne den Wert von etwa einem halben Grad. Die Babylonier setzten deshalb das Verhältnis des Sonnendurchmessers zur Ekliptik = 1 : 720[2].

Genau würde dieses Verfahren ja nur unter dem Äquator gewesen sein. Da indessen die Schiefe der Sphäre im Lande der Chaldäer nicht allzu groß ist, so ergab sich ein für rohe Messungen genügendes Resultat[3]. Aus den babylonischen Überlieferungen ist ferner ersichtlich, daß man das Sonnenjahr zu 365 Tagen rechnete und selbst die ungleich schnelle Bewegung der Sonne während eines Jahres bemerkte[4].

Den Tag teilten die Chaldäer in 12 Doppelstunden. Die Doppelstunde wurde erhalten, indem man die Zeit, welche die Sonnenscheibe gebrauchte, um am Himmel um ihren eigenen Durchmesser vorzurücken, und die man als Doppelminute bezeichnen kann, dem Sexagesimalsystem gemäß mit 60 multiplizierte.

---

[1]) Ideler, Über die Sternkunde der Chaldäer. Abhandlungen der Berliner Akad. d. Wissensch. 1814/15. S. 214.

Wie die alten Astronomen hierbei verfuhren, hat Pappus in seinem Kommentar zum V. Buche des Almagest geschildert.

[2]) K. F. Ginzel, Die astronomischen Kenntnisse der Babylonier. In den Beiträgen zur alten Geschichte. Bd. I (1902). S. 350.

[3]) Vielleicht haben die Babylonier, wie auch Lehmann vermutet, die Wasserwägung auf den Durchgang der Sonne durch den Meridian bezogen und so den durch die Schiefe der Sphäre bedingten Fehler vermieden.

[4]) Siehe K. F. Ginzel a. a. O. S. 351.

Dieses durch die Verbindung von Geometrie mit Mathematik und Astronomie gewonnene System der Zeitmessung blieb dann für die Folge bestehen, so daß Babyloniens Kulturmission schon allein hieraus ersichtlich ist. Daß später der Zeitabschnitt, nach welchem man den Tag einteilte, und dementsprechend die Unterabteilungen jener Einheit, halbiert wurden, wodurch die heutige Stunde, Minute und Sekunde entstanden, ist von nebensächlicher Bedeutung.

Die Astronomie wurde indessen von den ältesten Völkern nicht nur ihres Nutzens halber gepflegt, sie war gleichzeitig Vorbedeutungslehre, so daß die Astronomie infolge der fatalistischen, von der Phantasie beherrschten Anlage der Orientalen sehr bald in Astrologie ausartete. Dazu kam, daß jene Wissenschaft besonders von der Priesterkaste gepflegt wurde, die sich bemühte, ihr Ansehen zu erhöhen, indem sie ihr Tun und Treiben mit dem Schleier des Übernatürlichen und Geheimnisvollen umgab.

Daher entstand auch die Bevölkerung der Sonnenbahn mit Gestalten, die sich unter dem Einfluß religiöser und kosmogonischer Vorstellungen gebildet hatten. So sehen wir die Tierkreisbilder in Vorderasien schon lange vor Christi Geburt aufkommen. Ja, seit der Erschließung der Keilschriftfunde (die erste Übersetzung von Keilschrifttafeln astronomischen Inhalts erschien im Jahre 1874) wurde nachgewiesen, daß die meisten Namen für die Sternbilder, in der ihnen von den Griechen und uns beigelegten Bedeutung, schon bei den Babyloniern vorkamen. In Mesopotamien aufgefundene Grenzsteine besitzen sogar jene graphischen Darstellungen der Tierkreiszeichen, deren wir uns noch jetzt in unseren Sternatlanten bedienen [1]). Wie es noch heute geschieht, teilten die Babylonier den Tierkreis in 12 Sternbilder ein. Unter diesen begegnen uns die Wage, der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Skorpion und der Schütze, die wir noch besitzen. Die übrigen Bilder haben sich geändert. Von Babylon hat sich die Zwölfteilung der Sonnenbahn dann nach China und nach Ägypten ausgebreitet. So wurde im Anfange des 19. Jahrhunderts in Dendera (Oberägypten) an der Decke eines Tempels eine Darstellung des Tierkreises aufgefunden, die in Paris aufbewahrt wird. Man schrieb diesem Dokumente anfangs ein sehr hohes Alter zu. Doch gilt es heute als ausgemacht, daß der Tierkreis von Dendera aus der Zeit der Römerherrschaft stammt. Man nimmt ferner an, daß die Griechen ihre Zeichen von den Chaldäern

[1]) Ginzel, Die astronomischen Kenntnisse der Babylonier.

übernahmen, und daß die Ägypter die chaldäischen Zeichen mit ihren eigenen Sternbildern in Verbindung setzten.

Für die astrologische Richtung der ältesten Astronomie spricht außerdem ein chaldäisches Literaturdenkmal, das etwa zu derselben Zeit entstanden ist, als in Ägypten das älteste auf uns gelangte mathematische Lehrbuch geschrieben wurde (um 1700 v. Chr.). Es handelt sich um einen mit astrologischen Prophezeiungen versehenen Vorbedeutungskalender, den die moderne Orientforschung entziffert hat[1]. Dieser Kalender enthält Voraussagen von Finsternissen nebst Andeutungen, welche Ereignisse die Folge jener Finsternisse sein würden.

In besonders hohem Grade werden ungewöhnliche, die Menschheit in abergläubische Furcht versetzende Himmelserscheinungen wie Finsternisse und Kometen die Aufmerksamkeit auf die Sternenwelt gerichtet haben. Bezüglich der Finsternisse und der Kometen wurden auch zuerst Aufzeichnungen gemacht. Sie reichen bei den Chinesen, den Ägyptern und den Chaldäern Jahrtausende vor den Beginn unserer Zeitrechnung zurück. Welcher Zeitraum mag verflossen sein, bis die Chaldäer endlich die Regel erkannten, nach welcher die Wiederkehr der Finsternisse innerhalb 6585 Tagen erfolgt. Für das hohe Alter der orientalischen Astronomie spricht auch der Umstand, daß[2] Aristoteles die Begleiter Alexanders des Großen bat, in Babylon nach den alten astronomischen Beobachtungen der Chaldäer zu forschen. Es sollen denn auch infolgedessen Ziegel nach Griechenland gelangt sein, auf welchen Nachrichten über, 2000 Jahre vor Alexander zurückreichende Beobachtungen eingegraben waren[3]. Die chinesischen Nachrichten über Kometen reichen wahrscheinlich ebensoweit zurück. Und die astronomischen Annalen der Ägypter endlich berichten von nicht weniger als 373 Sonnen- und 832 Mondfinsternissen, welche vor Beginn der alexandrinischen Periode beobachtet wurden[4].

Die Dauer eines Umlaufs der Sonne wurde in Ägypten wie in Babylon anfangs zu 12 Monaten, jeder zu 30 Tagen, also zu 360 Tagen gerechnet. Jeder Monat zerfiel in 3 Dekaden, das Jahr somit in 36 Dekaden, denen 36 hervorragende Einzelsterne und

---

[1]) A. H. Sayce, The astronomy and astrology of the Babylonians with translations. London 1874. Siehe auch Cantor I. S. 81.

[2]) Nach Simplicius, Kommentar zu Aristoteles „De coelo".

[3]) Wolf, Geschichte der Astronomie. S. 10.

[4]) H. Suter, Die Geschichte der mathematischen Wissenschaften. Zürich 1873. S. 18.

Sternbilder zugeteilt waren. Die Abweichung eines Zeitraums von nur 360 Tagen von dem tropischen, auf 365 1/4 Tagen sich belaufenden Jahre war jedoch so groß, daß sie schon in der ältesten Zeit auffallen mußte. Man schaltete daher nach jedem Jahre 5 Tage ein, die man „die übrigen Tage" nannte. Diese Änderung der Zeitrechnung erfolgte jedenfalls schon während des alten Reiches, ja sie wird von den Ägyptern selbst in die Zeit vor Mena zurückverlegt. Aber auch nach dieser Einrichtung bemerkten die Ägypter nach längerer Zeit, daß das Jahr zu kurz bemessen sei und infolgedessen eine Verschiebung der Feste eintrat. Diese Beobachtung führte dann zu einer 238 v. Chr. in Kraft tretenden Anordnung[1]), nach welcher jedes vierte Jahr zu 366 Tagen gerechnet werden sollte, „damit es nicht vorkommt, daß einige der öffentlichen Feste, die man im Winter begeht, dereinst im Sommer gefeiert werden."

Die Ägypter sind also dasjenige Volk, denen wir die Einrichtung des Schaltjahres verdanken. Und es ist sehr wahrscheinlich, daß die astronomischen Ratgeber, die Cäsar bei seiner Kalenderverbesserung vom Jahre 46 v. Chr. zu Rate zog, um die in Ägypten getroffene Einrichtung gewußt haben. Dieser Umstand schmälert jedoch keineswegs das Verdienst Cäsars; ihm verdankt das Abendland eine dauernde Feststellung seiner Zeitrechnung, die so sehr in Unordnung geraten war, daß im Jahre 46 v. Chr. nicht weniger als 85 fehlende Tage eingeschaltet werden mußten.

Bis in das 19. Jahrhundert beschränkte sich unser Wissen von der Astronomie des Altertums im wesentlichen auf dasjenige, was uns die Griechen davon übermittelten[2]). Einen weit tieferen Einblick in die Entstehung der Astronomie hat uns die Entzifferung der Keilschriftfunde gebracht, in denen die Chaldäer ihre astronomischen Kenntnisse niedergelegt haben.

Zuerst wurde von der Keilschriftforschung Capella (ein Fixstern erster Größe im Fuhrmann) aus Abbildungen identifiziert. Dann geschah dasselbe für zahlreiche Sterne der Ekliptik. Sehr

[1]) R. Lepsius, Das bilingue Dekret von Kanopus. Berlin 1866. Die betreffende Inschrift wurde von Lepsius im Jahre 1866 in Unterägyten gefunden.

[2]) Die aus dem Altertum auf uns überkommenen Nachrichten über die Astronomie der Babylonier hat Ideler zusammengestellt: Über die Sternkunde der Chaldäer (Abhandlungen der Berliner Akademie d. Wissensch. v. 1814/15).

Die in Idelers Schrift zusammengestellten und erläuterten Fragmente waren bis zur Entzifferung der Keilschriftfunde, also bis 1870 etwa, die wichtigste Quelle für die Geschichte der babylonischen Astronomie.

alt sind nicht nur die Tierkreiszeichen, die man auf Grenzsteinen aus dem 12. Jahrh. v. Chr. auffand, sondern auch die Einführung von etwa 30 Planeten- und Mondstationen, deren Gebrauch von Babylon wahrscheinlich nach Indien und China gewandert ist[1]).

Ferner begegnen uns schon in sehr alten Keilschrifttexten Namen für die Planeten. Sie sind mit bestimmten Gottheiten in Verbindung gesetzt, so Venus mit Istar (Astarte?), Mars mit dem Kriegsgott. Letztere Zuweisung begegnet uns bekanntlich fast immer wieder und ist aus der rötlichen Farbe des Gestirns erklärlich.

Die Planetenbeobachtungen der Babylonier beschränken sich im wesentlichen auf die Angabe der Stellung zu den Sternbildern, der Oppositionen und der Kehrpunkte, sowie der heliakischen Auf- und Untergänge. Ein Beispiel[2]) ist folgendes: „Im 7. Jahre des Kambyses am 22. Abu des Jahres 523 v. Chr.) befand sich Jupiter im ersten Teile von Siru (der Jungfrau) im heliakischen Untergange."

Die Finsternisse und die Kometen wurden frühzeitig als Omina von ganz besonderer Wichtigkeit betrachtet und aus diesem Grunde mit großer Aufmerksamkeit verfolgt. Es finden sich auch Berichte über die Stellung, die bestimmte Planeten während einer Finsternis einnahmen. Solche, aus astrologischem Interesse unternommenen Aufzeichnungen reichen bis ins vierte Jahrtausend v. Chr. zurück. Aus ihnen entwickelte sich allmählich ein regelmäßiger Beobachtungsdienst[3]), der bis ins 8. Jahrhundert v. Chr. zurückreicht und sich nach der Regierungszeit Sardanapals, während des neubabylonisch-chaldäischen Reiches, wie die jüngsten Aufschlüsse[4]) ergeben haben, zu hoher Blüte entfaltete.

Das erwähnte, der Bibliothek Sardanapals entstammende astrologische Werk enthält[5]) Listen von Fixsternen, Angaben über Planeten, Kometen, Meteore, Verfinsterungen usw. Doch scheint

---

1) Siehe Ginzel, „Die astronomischen Kenntnisse der Babylonier und ihre kulturhistorische Bedeutung"; in den Beiträgen zur alten Geschichte (Klio). 1. Bd. (1901).

2) Nach Ginzel a. a. O. S. 191.

3) Siehe Ginzel a. a. O. (Klio).

4) „Was auf diesem Gebiete die Assyriologie geleistet, gehört zu den erstaunlichsten Ergebnissen der Altertumsforschung und bildet einen der größten Triumphe der Keilschriftenentzifferung" (Bezold, Ninive und Babylon 1903. S. 89). Unter den Männern, welche die Astronomie und die Keilschriftenkunde in einer Person vereinigen, ist besonders F. X. Kugler zu nennen.

5) Nach Kugler.

weniger Wert auf das Faktum als auf das Omen gelegt zu sein[1]). Seit 700 v. Chr. zeigt sich aber deutlich das Bestreben, die Bewegungen der Himmelskörper mit möglichster Genauigkeit räumlich und zeitlich zu verfolgen. Die Winkel werden bis auf 6 Minuten, der Zeitablauf bis auf $^3/_4$ Minuten richtig bestimmt[2]). Die Zeitunterschiede zwischen Sonnenuntergang und Mondaufgang wurden so genau ermittelt, daß die erhaltenen Angaben noch für die heutige Astronomie von Wert sind. Wie weit sich die Genauigkeit einer Bestimmung durch eine, über einen langen Zeitraum fortgesetzte Beobachtung einer periodischen Bewegung steigern läßt, zeigt folgendes Beispiel. Die Babylonier ermittelten, daß der Mond in 669 Monaten 723 $^{32}/_{360}$ Umläufe am Fixsternhimmel zurücklegt[3]). Daraus ergibt sich für die mittlere Dauer des synodischen Monats ein Wert von $29^d\,12^h\,44'\,7{,}5''$. Die heutige Astronomie berechnet den mittleren synodischen Monat zu

$$29^d\,12^h\,44'\,2{,}9''.$$

Die Abweichung beträgt also nur wenige Sekunden.

Die mittlere tägliche Bewegung des Mondes, d. h. den Bogen, den dieses Gestirn durchnittlich in 24 Stunden durchläuft, bestimmten die Babylonier[4]) zu $13^0\,10'\,35''$.

Mit gleicher Sorgfalt wurden die Bewegungen der Planeten verfolgt. Sie galten den Babyloniern gleich Mond und Sonne als göttliche Wesen und ihre Wanderung durch die Sternbilder des Tierkreises, den die Babylonier als „himmlische Erdreich“ bezeichneten, war ihrer Ansicht nach für die Geschichte der Erdbewohner von ausschlaggebender Bedeutung[5]). Diesen mythologischen Grundzug der babylonischen Sternkunde hat uns schon Diodor dargestellt. Er schreibt darüber:

„Die Chaldäer[6]) behaupten, die Welt sei ihrem Wesen nach ewig, sie habe nie einen Anfang genommen und könne auch niemals

[1]) F. X. Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel. Münster 1907.

[2]) Nach Ginzel, Die astronomischen Kenntnisse der Babylonier.

[3]) Ginzel, Die astronomischen Kenntnisse der Babylonier.

[4]) Wie schon Geminus (i. 1. Jahrh. v. Chr.) mitteilt.

[5]) Wie die Bewegungen der Gestirne, so galt auch das Verhalten gewisser Tiere als Omen. In Babylon hat, nach dem Inhalt mancher Keilschrifttexte zu urteilen, der Skorpion in dieser Hinsicht eine Rolle gespielt, wie sie heute beim Volke noch der Spinne zugeschrieben wird. Aus dem Verhalten der Skorpione suchte man z. B. das Schicksal der Heere oder den Verlauf öffentlicher Angelegenheiten vorherzusagen. (Mitteilungen zur Gesch. d. Medizin und der Naturwissensch. 1906. S. 326).

[6]) Siehe Diodors von Sizilien historische Bibliothek, übersetzt von J. F. Wurm. Stuttgart 1827. Buch II. Kap. 30.

untergehen; aber durch eine göttliche Vorsehung sei das All geordnet und ausgebildet worden, und noch seien alle Veränderungen am Himmel nicht Wirkungen des Zufalls, auch nicht innerer Gesetze, sondern einer bestimmten und unwandelbar gültigen Entscheidung der Götter. Über die Gestirne haben die Chaldäer seit langer Zeit Beobachtungen angestellt, und niemand hat genauer als sie die Bewegungen und die Kräfte der einzelnen Sterne erforscht. Daher wissen sie auch so vieles von der Zukunft den Leuten vorherzusagen. Am wichtigsten ist ihnen die Untersuchung über die Bewegungen der fünf Sterne, die man Planeten heißt. Sie nennen sie: „Verkündiger". Dem, der bei uns Saturn heißt, geben sie als dem ausgezeichnetsten, dem sie die meisten und die bedeutendsten Weissagungen verdanken, den Namen „Sonnenstern". Die vier andern aber haben bei ihnen dieselben Benennungen, wie bei unseren Sternkundigen: Mars, Venus, Merkur und Jupiter. Verkündiger nennen sie die Planeten deswegen, weil sie, während die anderen Sterne von ihrer ordentlichen Bahn nie abirren, allein ihre eigenen Bahnen gehen, und eben damit die Zukunft andeuten und den Menschen die Gnade der Götter kund machen. Vorbedeutungen, sagen sie, könne man teils an dem Aufgang, teils an dem Untergang der Planeten erkennen, manchmal auch an ihrer Farbe, wenn man aufmerksam darauf achte. Bald seien es heftige Stürme, die sie anzeigen, bald ungewöhnlich nasse oder trockene Witterung, zuweilen Erscheinungen von Kometen, Sonnen- und Mondfinsternissen, überhaupt Veränderungen jeder Art im Luftraum, welche Nutzen oder Schaden bringen für ganze Völker und Länder nicht nur, sondern auch für Könige und gemeine Leute. Dem Laufe der Planeten seien Sterne untergeordnet, welche „beratende Götter" heißen. Die eine Hälfte dieser Sterne führe die Aufsicht in dem Raum über der Erde, die andere unter der Erde. So überschauten sie, was unter den Menschen und was am Himmel vorgehe. Je nach 10 Tagen werde von den oberen zu den unteren einer der Sterne als Bote gesandt, und ebenso wiederum einer von den unteren zu den oberen. Die Bewegung der untergeordneten Sterne sei fest bestimmt und gehe regelmäßig fort im ewigen Kreislauf. „Fürsten der Götter" gebe es zwölf, und jedem von ihnen gehöre ein Monat und eines der zwölf Zeichen des Tierkreises zu, durch welche die Bahn der Sonne, des Mondes und der fünf Planeten gehe. Dort vollende auch die Sonne ihren Kreis in einem Jahre, und der Mond durchlaufe dort seinen Weg in einem Monat."

Bei den Planeten wurde vor allem auf die gegenseitige Stellung, ihre Entfernung von Mond und Sonne, den Wechsel der Bewegungsrichtung und ihren Kehrpunkt geachtet. Man kann sich leicht vorstellen, mit welcher Spannung jene alten Astronomen z. B. das Verschwinden der Venus in den Strahlen der Abendsonne (den heliakischen Untergang des Planeten) und ihr Wiederauftauchen kurz vor Sonnenaufgang (den heliakischen Aufgang der Venus) verfolgten.

Die Beobachtungen der heliakischen Auf- und Untergänge bildeten das Fundament der Planetenkunde[1]). Die Umlaufszeit eines Planeten ist bekanntlich diejenige Zeit, nach welcher der Planet, von der Sonne gesehen, wieder bei demselben Fixstern angelangt ist. Nun läßt sich wohl der geozentrische Ort des Planeten direkt beobachten, nicht aber der heliozentrische. Dagegen war man in der Lage, durch die Beobachtung der heliakischen Auf- und Untergänge wenigstens annähernd die Zeit zu bestimmen, die zwischen zwei Konjunktionen des Planeten mit der Sonne verläuft, d. h. die synodische Umlaufszeit zu ermitteln. Ließen sich die Konjunktionen selbst auch nicht beobachten, so nahmen die Planeten doch während der heliakischen Auf- oder Untergänge, dieselbe relative Stellung zur Sonne ein.

Um die Wanderung eines Planeten durch die Tierkreisbilder zu verfolgen, ist kein Gestirn geeigneter als Jupiter. Sein Durchgang zwischen den Hyaden und den Plejaden z. B. ist ein astronomisches Schauspiel, das sich den ältesten Beobachtern des Himmels einprägen mußte. Daß sich der Vorgang nach etwa 12 und beim Saturn nach etwa dreißig Jahren wiederholt, mußte frühzeitig auffallen. Während für diese beiden, von Sonne und Erde weit entfernten und außerhalb der Erdbahn befindlichen äußeren Planeten die Umlaufsbewegung, vom geozentrischen und vom heliozentrischen Standpunkte gesehen, sich annähernd decken, waren die Erscheinungen für Mars, Venus und Merkur ihrer Nähe wegen bedeutend verwickelter. Doch ergaben die beiden scheinbaren Stillstände die Opposition des Mars, und das Verschwinden in den Sonnenstrahlen auch für diese Planeten eine Periode von steter Wiederkehr und bestimmter Dauer.

[1]) Nach Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel. Assyriologische, astronomische und astralmythologische Untersuchungen. I. Buch: Entwicklung der babylonischen Planetenkunde von ihren Anfängen bis auf Christus. Münster 1907. S. 41.

Zu der Seleucidenzeit gelangte man sogar zu Planeten-Ephemeriden. Für Saturn z. B. wurde eine Periode von 59 Jahren, für Venus eine solche von 8 Jahren ermittelt. Der Fehler in der ersteren belief sich auf etwa einen halben Grad. Die aus den Ephemeriden berechnete Bewegung der Venus wich von der beobachteten sogar nur um 5 Minuten ab[1]).

Eine weitere Aufgabe, mit welcher die babylonischen Astronomen sich schon befaßten, war die genaue Feststellung der Jahresdauer. Das babylonische Jahr begann mit dem Frühlingsäquinoktium. Nun wandern die Äquinoktialpunkte in 26000 Jahren durch den ganzen Tierkreis. Der Frühlingspunkt verweilt somit in jedem Tierkreisbild etwa 2000 Jahre. In Anbetracht des großen Zeitraums, über den sich die babylonischen Beobachtungen erstrecken, konnte die Wanderung der Äquinoktien den Babyloniern nicht wohl entgehen. Als ihre Beobachtungen, soweit Urkunden darüber vorliegen, begannen, befand sich der Frühlingspunkt im Stier. Im 8. Jahrh. vor Chr. war die Frühjahrssonne in den Widder getreten, während sie jetzt schon in den Fischen steht. Damit hängt vielleicht zusammen[2]), daß die Aufzählung der Sternbilder in dem bekannten Verse: Sunt aries, taurus . . . . mit dem Widder beginnt. Denn daß die Namen der Tierkreisbilder zum Teil mit babylonischen Benennungen zusammenfallen, weist darauf hin, daß sie, wenn auch auf Umwegen, von den Babyloniern auf uns gelangt sind[3]).

Mit gleicher Sorgfalt wie die Bewegung der Sonne haben die Babylonier auch die Mondbewegung verfolgt. Welch langer Zeitraum mag dazu gehört haben, bis ihre Aufzeichnungen jene Periode von 223 synodischen Monaten erkennen ließen, innerhalb deren der Mond bezüglich seiner Knoten und seiner Entfernung von der Erde fast zur selben Stellung zurückkehrt. Jene Periode von 18 Jahren und 11 Tagen bezeichneten die babylonischen Astronomen als Saros. Die Kenntnis dieser Periode ermöglichte ihnen die Voraussage von Finsternissen. Auch Ptolemäos handelt in seinem Almagest, dem bedeutendsten astronomischen Lehrbuch des Altertums, von dem wir später noch ausführlich handeln werden, von mehreren Mondfinsternissen, welche die Chaldäer aufzeichneten. Die älteste chaldäische Beobachtung einer Mondfinster-

1) Siehe Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel. Münster 1907.

2) H. Winkler in „Der alte Orient“, Heft III.

3) Bezold, Ninive und Babylon. 1903.

nis, die Ptolemäos verwertete, datiert vom Jahre 721 v. Chr. Daß Ptolemäos nicht auf noch ältere, zweifellos existierende chaldäische Daten zurückgriff, ist wohl daraus erklärlich, daß er den älteren Daten keine hinreichende Genauigkeit zuschrieb[1]). Die letzten chaldäischen Beobachtungen, welche Ptolemäos erwähnt, gehören der Zeit um 240 v. Chr. an. Sie beziehen sich auf Vergleichungen von Merkur und Saturn in ihrer Stellung zu den Fixsternen. Um die erwähnte Zeit hatte indessen schon eine gegenseitige Durchdringung chaldäischer und griechischer Gelehrsamkeit stattgefunden[2]). Schrieb doch schon um 280 v. Chr. der Babylonier Berosus über die Geschichte seines Volkes ein Werk in griechischer Sprache, von dem leider nur Bruchstücke bei anderen Schriftstellern erhalten sind. Es ist das um so bedauerlicher, als Berosus auch manche Mitteilung über die Sternkunde der Chaldäer gemacht haben soll. Auch die jetzt durch die Keilschriftforschung erwiesene, offenbare Übereinstimmung der biblischen mit der babylonischen Schöpfungsgeschichte geht schon aus dem Bericht des Berosus hervor[3]).

Von den Chaldäern wanderte auch das älteste astronomische Werkzeug, der Gnomon, nach dem Zeugnisse Herodots nach Griechenland. Wann dies geschah, läßt sich mit Sicherheit nicht feststellen, zumal von alten Schriftstellern verschiedenen Personen (darunter Anaximander um 550 v. Chr.) das Verdienst zugeschrieben wird, dieses wichtige Werkzeug in Griechenland eingeführt zu haben.

Der Standpunkt, den die Astronomie bei den Chaldäern schließlich erreicht hatte, läßt sich in der Kürze wie folgt kennzeichnen[4]): Beobachtungen, bei denen die Winkel bis auf 6′ und die Zeit bis auf 40″ genau bestimmt war, reichten bis ins 7. Jahrhundert v. Chr. zurück. Der Lauf der Sonne und die ungleiche Länge der Jahreszeiten waren bekannt. Vielleicht besaß man sogar eine rohe Kenntnis der Präzession der Nachtgleichen. Die Länge der Monate hatte man mit einer Genauigkeit ermittelt, welche der von Hip-

---

[1]) Wolff, Geschichte der Astronomie. S. 10.

[2]) Berosus war Priester in Babylon. Er gibt selbst an, daß er unter Alexander, dem Sohne Philipps gelebt habe. Näheres siehe in Christ, Geschichte der griechischen Literatur. 1889. S. 412.

[3]) K. A. v. Zittel, Geschichte der Geologie und Paläontologie. 1809. S. 2. Die Aufzeichnungen des Berosus (Christ, a. a. O.) erregten bei den Juden und den Christen besonderes Interesse, durch die mit der Bibel übereinstimmenden, jetzt auch durch Keilschrifttexte bestätigten Mythen von der Sündflut, dem Turmbau zu Babel usw.

[4]) Nach Ginzel, Das astronomische Wissen der Babylonier (Klio. 1901).

parch erreichten gleichkam. Der Begründung der Trigonometrie war durch eine Art Sehnenrechnung vorgearbeitet, so daß auch hierin die Chaldäer als die Vorläufer der Alexandriner, insbesondere des Hipparch gelten können. Endlich vermochte man mit Hilfe von Ephemeriden den Lauf des Mondes und der Sonne, sowie das Eintreten der Finsternisse mit ziemlicher Sicherheit anzugeben.

Erblicken wir das Ziel der Wissenschaft darin, daß man das Eintreten zukünftiger Erscheinungen mit einem gewissen Grade von Genauigkeit vorherzusagen vermag, so müssen wir zugeben, daß die Babylonier diese Stufe auf dem Gebiete der Astronomie schon erreicht hatten. Allem Anschein nach ruhte das astronomische Wissen eines Hipparch und eines Ptolemäos, an welche im 15. Jahrhundert Regiomontan und Kopernikus, anknüpften, unmittelbar auf den in Babylonien geschaffenen Grundlagen der Sternkunde[1]).

Die Babylonier fanden aber nicht nur die Mittel zur Zeitmessung und ein Zeitmaß, das sich bis auf den heutigen Tag erhalten hat, sondern sie schufen, wie neuere archäologische Forschungen dargetan, auch ein Maß- und Gewichtssystem, das für das Altertum grundlegend wurde, und eine ähnliche sinnreiche Verknüpfung wie das französische aufwies.

Die Einheit für die Längenmessung, die Doppelelle, war $992\frac{1}{3}$ mm lang Dies Maß ist neuerdings auf Statuen bei Ausgrabungen entdeckt worden. Daß die babylonische Doppelelle und das Sekundenpendel fast übereinstimmen[2]), ist wohl als Zufall aufzufassen. Dagegen wurde die Gewichtseinheit, die Mine, nach einem bestimmten Grundsatz aus der Längeneinheit abgeleitet[3]), wie das heutige Kilogramm.

Die Doppelelle wurde nämlich in 10 Teile zerlegt und dieses Zehntel als Kantenlänge für einen Würfel gewählt, den man mit Wasser füllte. Das Gewicht dieser Wassermasse kam einem Kilogramm sehr nahe, da ja die Doppelelle nur wenig von dem Meter abwich. Es betrug 982,4 g. Die Hälfte dieses Gewichtes, die leichte Mine von 491,2 g, war während des ganzen Altertums gebräuchlich[4]).

---

1) Ginzel, Das astronomische Wissen der Babylonier (Klio. 1901. S. 209).

2) Lehmann ist geneigt, hier eine absichtliche Verknüpfung anzunehmen. Beiträge zur alten Geschichte. Bd. I. (1902.) S. 355.

3) C. F. Lehmann, Über die Beziehungen zwischen Zeit- und Raummessung im babylonischen Sexagesimalsystem (Klio. Bd. I. S. 381 u. f.).

4) Es ist sehr bedauerlich, meint Lehmann, daß den Mitgliedern der Kommission, welche während der französischen Revolution mit der Regelung

Mit der Anwendung des Hebels zum Abwägen von Waren, Medikamenten usw. waren schon die ältesten Kulturvölker vertraut. Die Ausgrabungen in Mesopotamien haben zahlreiche, mitunter sehr handlich gestaltete (s. Abb. 3) Gewichtsstücke zutage gefördert. In Ägypten hat man nicht nur solche bis herab zu Stücken, die wenige Gramm anzeigen, sondern auch zahlreiche Abbildungen von Wagen (s. Abb. 4) gefunden. Die ägyptischen Wagen waren sämtlich zweiarmig. An dem oberen Teile des Gestelles befand sich ein Lot, um die richtige Einstellung der Wage zu kontrollieren. Die Ägypter müssen es verstanden haben, schon ziemlich empfindliche Wagen herzustellen. Aus den Rezepten des Papyrus Ebers geht nämlich hervor, daß man als kleinstes Gewicht ein solches benutzte, das nur 0,71 g wog[1]).

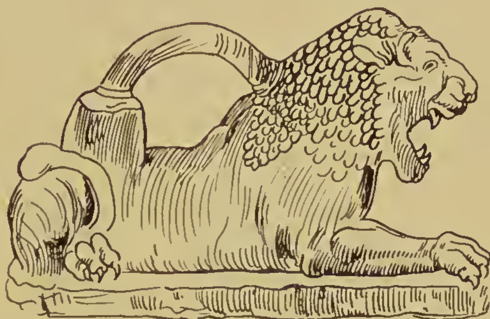


Abb. 3. Altbabylonisches Gewicht. Nach Layard.

Nach den bisher gewonnenen archäologischen Aufschlüssen haben sich die Ägypter der ungleicharmigen Wage noch nicht bedient. Daß die Ägypter aber mit der Wirkung des ungleicharmigen Hebels schon in grauer Vorzeit bekannt waren, beweisen die Wandgemälde Thebens.

Die auf dem Prinzip des ungleicharmigen Hebels beruhende Schnellwage begegnet uns zuerst auf italischem Boden. Gut er-

von Maß und Gewicht betraut war, von all dem nichts bekannt sein konnte. Sie konnten nicht wissen, daß das französische Pfund eine so altehrwürdige Gewichtseinheit sei, und sich als Funktion und Ableitung aus einem von den Babyloniern wirklich verwendeten, mit dem Sekundenpendel für die dortigen Breiten übereinstimmenden Längenmaße auffassen lasse. Sonst würde wohl sicher, der ursprünglichen Absicht gemäß, statt des Meters, eines schwer bestimmbaren und schließlich falsch berechneten Teiles des Erdmeridians, das Sekundenpendel als Grundlage des Systems gewählt worden, und die Kontinuität der Entwickelung gewahrt geblieben sein.

[1]) Das Medizinalgewicht, welches der Verfasser des Papyrus Ebers seinen Rezepten als Einheit zugrunde legt, betrug nach F. Hultsch (Griech. u. röm. Metr. 1882, S. 374 u. 376) ungefähr 6 g und das kleinste Gewicht namens pek 0,71 g. Vergl. R. Lepsius, Abhandl. d. Berliner Akademie, 1871, S. 41–43 und F. Chabas, Recherches sur les poids, mésures et monnaies des anc. Egypt. Paris 1876. S. 21, 38.

haltene Exemplare wurden in Etrurien und in Pompeji ausgegraben[1]).

Nicht nur auf den Gebieten der Mathematik und der Astronomie, die wir bisher vorzugsweise gewürdigt haben, erlangten die Babylonier und die Ägypter im großen und ganzen die gleiche Stufe der Entwicklung, sondern auch im übrigen ist das Niveau des Wissens und der Kultur im allgemeinen bei den beiden uralten, unter fast gleichen Bedingungen lebenden und wohl auch stamm-

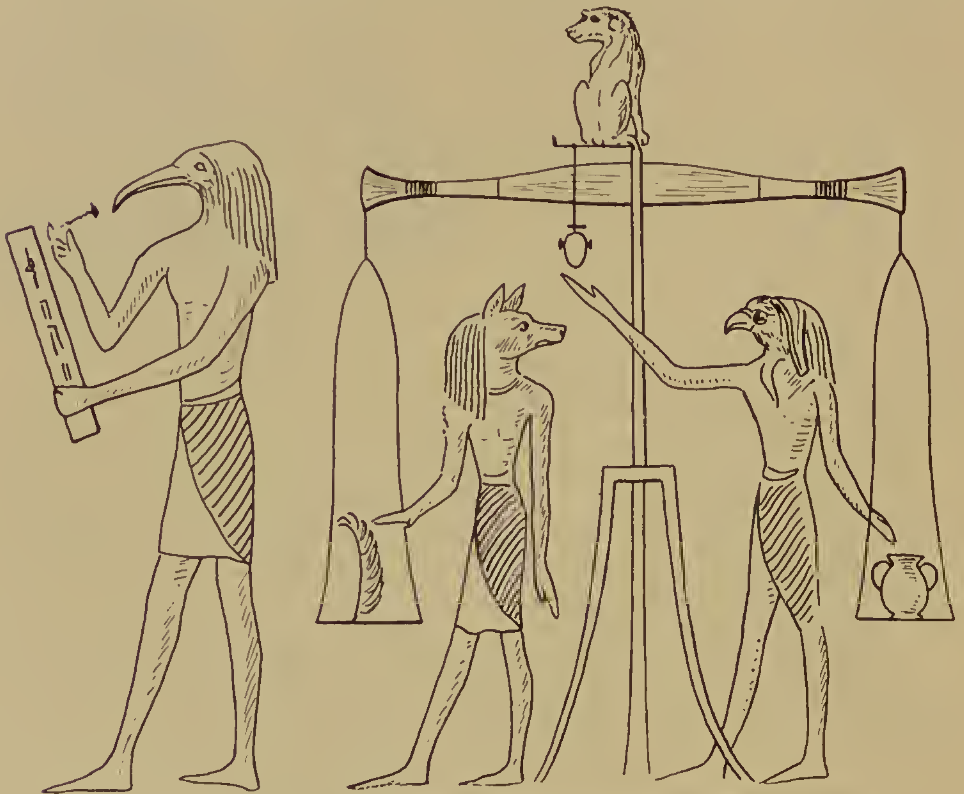


Abb. 4. Wage, einem altägyptischen Totenbuche entnommen[1]).

verwandten Völkern fast dasselbe gewesen. So haben die neueren Forschungen erwiesen, daß die Babylonier wie die Ägypter Eisen herstellten und verarbeiteten. Schon Lepsius hat darauf aufmerksam gemacht[2]), daß auf den, auch in den Farben so wohlerhaltenen, ägyptischen Wandbildern der Kriegshelm blau gemalt ist. Im Grabe Rhamses des Dritten sind auch die Schwerter blau gemalt.

---

1) Näheres über die Geschichte der Wage, der Gewichte und des Wägens enthält die Schrift: Th. Ibel, Die Wage im Altertum und Mittelalter. Erlangen 1908.

2) Lepsius, Die Metalle in den ägyptischen Inschriften. Abhandl. d. kgl. Akademie d. Wissensch. zu Berlin. 1871. S. 111.

In beiden Fällen kann es sich wohl nur um die Wiedergabe eiserner Waffen handeln. Gemalte Holzlanzen der ägyptischen Gräber tragen rote und blaue Spitzen. Wir erkennen daraus, daß neben Eisen auch Kupfer zur Herstellung von Waffen gebraucht wurde. Um den Granit in solch vollkommener Weise zu bearbeiten, wie es ihre Sarkophage und Obelisken zeigen, mußten die Ägypter wohl auch schon mit dem Härten des Eisens vertraut sein[1]).

Neuerdings haben sowohl die ägyptischen als auch die babylonischen Ausgrabungen zahlreiche Beweisstücke für eine sehr frühe Bekanntschaft mit dem Eisen zutage gefördert. In ägyptischen Gräbern, welche aus dem Jahre 3000 v. Chr. herrühren, fanden sich z. B. Pflugschare und andere Werkzeuge aus Eisen[2]).

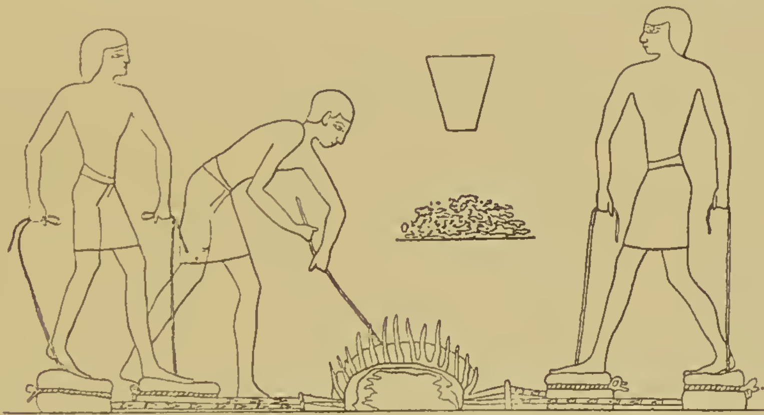


Abb. 5. Gewinnung von Eisen nach altägyptischen Wandgemälden.

Nach den neuesten Funden ist das Eisen seit der 4. Dynastie (3400 v. Chr.) den Ägyptern bekannt gewesen. In der 19. Dynastie war es neben der Bronze allgemein in Gebrauch[3]).

Die Art, wie die Ägypter Eisen darstellten, ist aus vorstehender Abbildung ersichtlich[4]). Sie benützten Blasebälge aus Leder, die mit den Füßen getreten wurden. Ein Arbeiter bediente zwei

[1]) A. Rössing, Geschichte der Metalle. 1901.

[2]) E. Reyer vertrat in seiner Abhandlung „Altorientalische Metallurgie" (Zeitschrift d. orientalischen Gesellsch. 1884. S. 149) noch die Ansicht, daß das Eisen erst unter dem neueren Reich nach Ägypten gelangt sei. Er nahm dementsprechend an, daß die Ägypter die Steine mit Bronzegeräten bearbeitet hätten. Auch in Vorderasien sollte das Eisen nach Reyer erst in der assyrischen Blütezeit neben der Bronze in Gebrauch gekommen sein.

[3]) Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften. 1904. S. 81.

[4]) A. de Rochas, Les origines de la science et ses premières applications.

solcher Säcke, von denen abwechselnd der eine durch den Zug einer Schnur mit Luft gefüllt wurde, während sich der andere unter dem Druck des Fußes entleerte. Die gepreßte Luft gelangte in eine Feuerung, in welcher das Eisenerz unter der reduzierenden Wirkung eines Kohlenfeuers zu Eisen niedergeschmolzen wurde. Den altägyptischen ähnliche Blasebälge sind noch heutzutage im Innern Afrikas in Gebrauch. Daß auch die Babylonier Eisen darstellten und verarbeiteten, wird nicht nur durch keilschriftliche Aufzeichnungen, sondern auch durch Funde von Helmen, Panzern und Geräten bewiesen.

Noch leichter als das Eisen aus seinen Erzen ließ sich das Kupfer aus Malachit erschmelzen. Zudem besaßen die alten Ägypter Fundstätten, an welchen dieses Metall gediegen vorkam. So betrieb dieses Volk bereits im 5. Jahrtausend v. Chr. auf der Insel Meroë einen umfangreichen Bergbau auf Kupfer[1]).

Zink und Zinn waren zwar den beiden ältesten Kulturvölkern als solche nicht bekannt, doch verstanden sie es, durch einen Zusatz von Erzen dieser Metalle, insbesondere von Galmei, beim Niederschmelzen der Kupfererze Bronze herzustellen, deren Verwendung zu Waffen, Schmucksachen und Geräten bis in die älteste Zeit hinaufreicht. Oft tragen auch die Bronzegegenstände Spuren einer Bearbeitung mit Stahl[2]). Am frühesten sind Silber und besonders Gold gewonnen und verarbeitet worden, da beide Metalle an vielen Orten gediegen vorkommen und ihres Glanzes und ihrer Beständigkeit wegen geschätzt wurden. Die Ägypter betrieben Goldbergwerke in Nubien. Sie kannten die Kunst des Vergoldens und schmolzen Gold in einem bestimmten Verhältnisse mit Silber zu einer Legierung zusammen. Die Ausbeute Nubiens an Gold soll sich zur Zeit Rhamses des Zweiten auf viele Millionen jährlich beziffert haben.

---

1) Rössing, Geschichte der Metalle. S. 11.

2) Rössing, a. a. O. S. 3. In manchen untersuchten Bronzen ist das Zinn ganz oder zum Teil durch Antimon ersetzt. Entweder wurde dieses Metall in Form von Antimonerz bei der Verhüttung der Kupfererze zugesetzt oder man war im Altertum schon mit der Gewinnung des metallischen Antimons vertraut. Die letztere Ansicht vertritt Helm. Siehe den Jahresbericht über die Fortschritte des klassischen Altertumswissenschaft 1902. III. S. 26–82 (Stadlers Literaturbericht).

Einen bei den Ausgrabungen in Sakkara zutage geförderten Bronzebarren von der Form, wie ihn die alten Abbildungen zeigen, untersuchte Berthélot (Comptes Rendus 1905. S. 183). Quelques métaux trouvés dans les fouilles archéologiques en Égypte. Dieser Barren enthielt 87,5 % Kupfer und 11,47 % Zinn. Der Rest bestand aus Blei und Patina.

Eine aus Kupfer hergestellte Wasserleitung weist ein um 2500 v. Chr. entstandener Tempel auf, der in der Nähe des alten Memphis freigelegt wurde. Die Leitung hatte eine Länge von 400 Metern. Die Röhren bestanden aus getriebenem Kupfer von etwa 4 cm Durchmesser und 1 mm Wandstärke[1]). Die althergebrachte Meinung, daß der Name Kupfer von Cypern stamme, wird neuerdings angefochten. Das Kupfer wurde schon im Altertum in den Alpen und in Skandinavien gewonnen. Sein lateinischer Name „Cuprum" wurde wahrscheinlich von den Römern den nordischen Völkern entlehnt[2]).

Daß nicht nur in der Metallbearbeitung, sondern auch in der Ingenieurmechanik das graue Altertum Bedeutendes geleistet hat, beweisen uns die Obelisken, deren hunderttausende von Kilogrammen wiegende Steinmassen nicht durch die Vereinigung von Menschenhänden allein bewegt und aufgerichtet werden konnten. Ist doch bekannt, welche Mühe es kostete, den Obelisken von Heliopolis auf dem Platze vor der Peterskirche in Rom mit Hilfe zahlreicher Göpel und Flaschenzüge aufzurichten[3]). Dieser Obelisk ist eine einzige Steinmasse von über 300000 kg Gewicht.

Ein Beispiel von der Fertigkeit der Inder im Schmieden und in der Bewegung großer Massen erzählt Rössing in seiner Geschichte der Metalle. Danach befindet sich in Delhi eine 18 m lange Eisensäule von 17000 kg Gewicht, die ein Alter von 2000 Jahren besitzt[4]). Ungeheure Sklavenheere ersetzten zwar im Altertum bis zu einem gewissen Grade die Maschinen. Dies allein genügt indes nicht zur Erklärung solcher Leistungen. Es mußten intelligente Führer, die mit der Konstruktion und der Handhabung mechanischer, wenn auch nur empirisch beherrschter Mittel vertraut waren, hinzukommen. Hand in Hand mit der Gewinnung und der Verarbeitung der Metalle ging die Herstellung von Glas, Email, gefärbten Glaswaren und von Erzeugnissen der Keramik. Sowohl in Babylonien als in Ägypten war man mit diesen Gewerben vertraut. Die Glasflüsse und Emaillen wurden mit Kupferoxyd und

[1]) Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften. 1909. S. 300.

[2]) L. Wilser in den Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften. 1907. S. 487. Nach A. Ludwig stammt das Wort aus dem Hebräischen (Zeitschr. f. d. Kunde des Morgenlandes. 1905. Bd. XIX. S. 239 240).

[3]) Beck, Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues. Berlin 1899. S. 492.

[4]) Rössing, Geschichte der Metalle. S. 14.

mit Kobaltverbindungen rot oder blau gefärbt. Daß man es auch in der Kunst des Schleifens weit gebracht hatte, beweist die Auffindung einer Linse durch Layard[1]) in den Ruinen Ninives. Diese Linse befindet sich im Britischen Museum; sie ist 0,2 Zoll dick und besitzt eine Brennweite von 4,2 Zoll. Welchem Zweck sie diente, läßt sich nicht angeben.

Die Glasbereitung, deren Erfindung man mit Unrecht den Phöniziern zugeschrieben hat, wurde in Ägypten schon in der ältesten Zeit geübt. Als Materialien wurden Sand, Soda, Muschelschalen, Braunstein usw. verwendet. Das bekannte Relief von Beni Hassan stellt nicht, wie man früher annahm, Glasbläser, sondern wahrscheinlich Metallarbeiter vor. Das Blasen des Glases kam nämlich erst um den Beginn unserer Zeitrechnung auf. Anfangs wurden die Gläser über einem Tonkern geformt, oder man goß die flüssige Glasmasse in Tonmodelle, die man hin- und herschwenkte, um dem erkaltenden Glase die gewünschte Form zu geben[2]). Eine ausführliche Darstellung über das Glas im Altertum verdankt man A. Kisa (A. Kisa, das Glas im Altertume. 978 Seiten mit 395 Abbildungen im Text und zahlreichen Tafeln. Leipzig, K. W. Hiersemann 1908). Kisa erwähnt ägyptische Glasfabriken, die zur Zeit Amenophis IV. in Tell el Amarna bestanden. Die Ägypter erfanden das Glas in uralter Zeit. Sie vertrieben ihre Erzeugnisse (z. B. Glasperlen) schon im Massenexport. Von Ägypten aus wurden die Phönizier und die übrigen Mittelmeervölker mit der Bereitung und der künstlerischen Verarbeitung des Glases bekannt.

Von sonstigen chemisch-technischen Gewerben wurden nicht nur die Töpferei unter Anwendung von Email, sondern auch die Färberei mit Benutzung des Alauns als Beize ausgeübt. Als Mineralfarben gebrauchte man Zinnober und Eisenoxyd, wie sie die Natur darbietet. Mennige, Bleiweiß und Kienruß wurden künstlich hergestellt. Indem man die in Ägypten natürlich vorkommende Soda (Natronseen) mit Öl vermischte, gelangte man zur Erfindung der Seife.

Ein erstaunlich hohes Alter besitzt auch die Medizin. Manches ist darüber aus den in Ägypten gemachten Papyrusfunden und aus babylonischen Keilschrifttexten bekannt geworden, doch ist es oft nicht möglich, aus den Beschreibungen die Krankheiten wieder-

---

[1]) A. H. Layard, Niniveh and its remains. London 1849.

[2]) A. C. Kisa, Die Erfindung des Glasblasens. Jahrbuch für Altertumskunde I. S. 1.

zuerkennen. Welche Entwicklung die Medizin in Ägypten genommen, das nebenbei als ein gesundes Land galt, erkennen wir aus den Angaben Herodots. Er erzählt: „Die Medizin ist bei ihnen geteilt, jeder Arzt beschäftigt sich mit einer Art von Krankheit. Die einen sind Augenärzte, die anderen Ärzte für den Kopf, andere für die Zähne und wieder andere für nicht sichtbare Krankheiten“[1]).

Nicht nur das Bedürfnis, Krankheiten zu heilen, sondern auch der Brauch, Leichen zu mumifizieren, wird die Ägypter frühzeitig zur Beschäftigung mit dem Bau des menschlichen Körpers geführt haben, wenn auch religiöse Gründe einer, zu wissenschaftlichen Zwecken erfolgenden Zergliederung der Leichen im Altertum wie im Mittelalter recht hindernd im Wege standen. Das hohe Alter der babylonischen Medizin geht schon daraus hervor, daß die Gesetzessammlung Hammurabis auch von medizinischen Gebühren und von der Haftpflicht der Chirurgen handelt. Ein Paragraph[2]) bestimmt unter anderem, daß man einem Chirurgen, der das Auge eines Menschen öffne, um den Star zu operieren, beide Hände abhauen solle, wenn das Auge durch den chirurgischen Eingriff zerstört werde[3]). Nicht minder barbarisch waren die ägyptischen Vorschriften. Berichtet uns doch Diodor[4]), daß Ärzte, wenn der Patient starb, Gefahr liefen, als Mörder bestraft zu werden. Da jene ältesten Ärzte ihre Heilmittel aus allen Naturreichen wählten, so waren Medizin und Naturkunde von vornherein aufs engste miteinander verschwistert. Die medizinischen Papyrusfunde zählen über 50 Pflanzen auf, die zu Heilzwecken gebraucht wurden. Daneben fanden auch Organe und Sekrete von Tieren, wie Herz,

---

[1]) Herodot II. 84.

[2]) Kodex Hammurabis. Siehe Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften. 1903 Heft 1. S. 90.

[3]) Die Staroperation, der man bisher ein Alter von etwa 2000 Jahren zuschrieb, ist durch diese Erwähnung in der Gesetzessammlung Hammurabis um weitere 2000 Jahre zurückzudatieren. Siehe H. Magnus, Zur Kenntnis der im Gesetzbuche des Hammurabi erwähnten Augenoperationen. Deutsche med. Wochenschrift, 1903. Nr. 23.

Es läßt sich mit Bestimmtheit annehmen, daß diese Gesetze schon vor ihrer Kodifizierung durch lange Zeiträume hindurch Geltung besaßen. Der 118. Paragraph der Sammlung Hammurabis lautet:

„Wenn ein Chirurg jemandem eine schwere Wunde mit dem kupfernen Skorpionpfriemen macht und den Menschen tötet oder den Star eines Menschen mit dem kupfernen Skorpionpfriemen öffnet und das Auge des Menschen wird zerstört, seine Hände soll man ihm abhauen.“

[4]) Diodor, I. 82, 3.

Leber, Blut, Galle usw., ferner Mineralien wie Kupfersalze und Natron Verwendung.

Ein interessantes Kapitel aus der Geschichte der Medizin ist auch die Behandlung der Zahnkaries. Die Babylonier nahmen an, daß das Hohlwerden der Zähne von Würmern herrühre, welche die Zähne ausnagen sollten. Eine Heilung erwartete man von Beschwörungsformeln. Diese Formeln verbreiteten sich bis nach Europa und erhielten sich dort bis ins Mittelalter. An die Stelle der Beschwörung oder neben diese trat aber schon sehr frühzeitig eine sachgemäße Behandlung der Krankheit. Man stillte den Schmerz mit giftigen Kräutern und füllte den hohlen Zahn mit Harz [1]).

Ein Keilschrifttext, der erkennen läßt, in welcher Art oft kosmogonische Vorstellungen mit Gebetformeln und Heilvorschriften vereinigt wurden, lautet folgendermaßen:

Als Gott Anu schuf den Himmel,
der Himmel schuf die Erde,
die Erde schuf die Flüsse,
die Flüsse schufen die Kanäle,
die Kanäle schufen den Schlamm,
der Schlamm schuf den Wurm.
Da ging der Wurm; beim Anblick der Sonne weinte er.
Vor das Angesicht des Gottes Ea kamen seine Tränen:
Was gibst du mir zu meiner Speise?
Was gibst du mir zu meinem Tranke?
Ich gebe dir das Holz, welches faul ist und die Frucht des Baumes.
Was ist für mich faules Holz und die Frucht des Baumes?
Laß mich nisten im Innern des Zahnes.
Seine Höhlungen gib mir als Wohnung.
Aus dem Zahne will ich saugen sein Blut.
Weil du dies gesagt hast, Wurm,
möge dich schlagen Gott Ea
mit der Stärke seiner Hände.
Dies diene zur Beschwörung für den Schmerz der Zähne.
Dabei sollst du Bilsenkraut pulvern und mit Baumharz zusammenkneten.

1) In einem altbabylonischen Texte wird Bilsenkraut als „die Pflanze, welche die Glieder lähmt" und „Fett vom Baume" (Harz) empfohlen. Mitteil. zur Gesch. d. Med. u. d. Naturwissensch. 1904. S. 221.

Dies sollst du in den Zahn bringen, während du die Beschwörung dreimal hersagst[1]).

Daß sich durch das Zusammenleben in den oft stark bevölkerten Städten der alten Kulturwelt auch schon eine gewisse Wohnungs- und Volkshygiene herausbildete, darf als sichergestellt gelten. Die Erbauung der Städte erfolgte oft schon nach bestimmten Plänen. Einen Stadtplan von Ninive hat man auf einer Statue gefunden, deren Alter auf 5000 Jahre beziffert wird. Ebenso alt sind die in einem Palaste der Sargonstadt aufgefundenen Räume, die man als Klosetts mit Wasserspülung deutet. Wasserleitungen und Kloaken begegnen uns schon bei den Chaldäern und bei den Ägyptern. Wahrscheinlich sind die Griechen, wie in so vielen anderen Dingen, auch hierin die Schüler dieser Völker gewesen. Bei den Assyrern gab es um 700 v. Chr. Städte mit geraden, gepflasterten Straßen, die sogar Bürgersteige aufwiesen[2]).

Welchen Umfang die Kenntnisse der Ägypter in medizinischen, botanischen und zoologischen Dingen besaßen, läßt sich kaum noch feststellen. Viele Einzelheiten lassen sich zwar aus Abbildungen und den auf uns gekommenen Papyrusfunden entnehmen. Wir wissen ferner, daß die angewandte Botanik in Ägypten und in Vorderasien ihren Ursprung genommen hat. So wurden in Ägypten drei Weizen- und zwei Gerstenarten, sowie die Hirse (Sorghum) gebaut[3]). Auch betrieb man den Anbau des Ölbaums, der Dattel und der Feige, des Weinstocks, der Linsen, Erbsen usw.

Das umfangreichste medizinische Dokument ist der Papyrus-Ebers. Er stammt aus Theben und wurde zwischen 1700 und 2000 v. Chr. niedergeschrieben. Der Papyrus Ebers ist in der

---

[1]) F. v. Oefele, Zwei medizinische Keilschrifttexte in Urschrift, Umschrift und Übersetzung. (Mitteil. zur Gesch. der Med. u. d. Naturwissensch. 1904. S. 217 u. f.)

[2]) H. A. Nielsen, Die Straßenhygiene im Altertum. Arch. f. Hygiene. Bd. 43. (1902.) S. 85—115.

[3]) Eine Liste der in Ägypten und in Palästina angebauten Kulturpflanzen enthält die Abhandlung von Warburg, „Geschichte und Entwicklung der angewandten Botanik“ (Berichte der Deutschen botanischen Gesellschaft. 1901. S. 153). Für Ägypten kommen unter anderen in Betracht: drei Weizenarten, zwei Gerstenarten, Knoblauch, Porree, Schalotten, Lein, Papyrus, Ölbaum, Weinstock, Dattel, Feige, Melonen, Kürbis, Artischocke, Spargel, Rettich, Ackererbse, Pferdebohne, Linse, Kohl, Fenchel, Anis, Absynth, Schlafmohn, Rizinus, Granatapfel. Die meisten dieser Pflanzen wurden auch in Palästina angebaut, wo man auch schon das Pfropfen verstand. Als Werkzeuge sind der Pflug, die Egge, Sicheln, Hecheln und Dreschbretter nachgewiesen.

Hauptsache eine Sammlung von Rezepten, Gebeten und Beschwörungsformeln für die verschiedensten Krankheiten. Er gestattet daher keinen Schluß auf den Stand der Medizin im allgemeinen. Obgleich wir keinen, die Chirurgie in ähnlicher Ausführlichkeit behandelnden Text besitzen, läßt sich aus den Beobachtungen gut geheilter Knochenbrüche und ähnlicher Dinge an Mumien wohl schließen, daß der Stand dieses, durch anatomische Kenntnisse bedingten medizinischen Wissenszweiges ein verhältnismäßig hoher gewesen ist. Der Papyrus Ebers enthält auch einige Andeutungen über die Entwicklung des Skarabäus aus dem Ei, der Schmeißfliege aus der Larve, des Frosches aus der Kaulquappe[1]).

Die Bereitung der Arzneien erfolgte anfangs durch die Ärzte selbst. Indessen begegnen uns schon im alten Alexandrien und im alten Rom besondere Arzneibereiter. Die Einrichtung von Handapotheken geht bis in die älteste ägyptische Zeit zurück. Die ägyptische Sammlung des Berliner Museums besitzt eine aus dem Jahre 2000 v. Chr. stammende Handapotheke einer ägyptischen Königin. Diese Apotheke war laut geschriebener Widmung ein Geschenk. In den mit Pfropfen verschlossenen Albastergefäßen befinden sich noch Wurzeln, die zu Heilzwecken dienten[2]).

Manchen Aufschluß über das Verhältnis der alten Ägypter zu der sie umgebenden Tier- und Pflanzenwelt erhalten wir aus den Wandgemälden der Gräber und den Verzierungen der jedem Toten mit ins Grab gegebenen Schminktafeln. Eine Fülle wohlerhaltener Abbildungen enthalten die aus dem alten Reiche (der V. Dynastie) stammenden Gräber des Ptahhotep und des Ti. Sie gehören der Nekropole des alten Memphis an und liegen in der Nähe der Stufenpyramide von Sakkara. Das Grab des Ptahhotep zeigt uns den Verstorbenen umgeben von seinen Windhunden und Schoßaffen. Diener sind mit dem Schlachten von Opfertieren beschäftigt, oder sie führen Jagdbeute herbei, wie Gazellen und Löwen. Die Jagdszenen enthalten manche Beobachtung aus dem Tierleben, z. B. einen Löwen, der einen vor Schreck gelähmten Ochsen überfällt. Ausführlich wird die Weingewinnung dargestellt. Die Bilder zeigen die Pflege des Weinstocks, die Traubenlese und das Keltern. Sehr früh verschwinden aus den Abbildungen die Darstellungen phantastischer Mischgestalten. Besonders die Schminktafeln (die alten

[1]) R. Burckhardt, Geschichte der Zoologie. S. 12. Leipzig, Göschensche Buchhandlung. 1907.

[2]) Tierärztliches Zentralblatt. 1903. Nr. 18.

Ägypter schminkten die Augenbrauen) zeigen, daß man schon von der ersten Dynastie an mit wenigen Ausnahmen beobachtete Tierformen zur Darstellung brachte[1]). Die literarischen Belege und die Abbildungen finden eine wertvolle Ergänzung durch die Naturgegenstände selbst, die man in den alten Nekropolen Ägyptens gefunden und in dem großen Museum von Kairo vereinigt hat. Man findet dort zahlreiche Mumien von Hunden, Krokodilen, Fischen, Vögeln (besonders dem Ibis), Spitzmäusen, Bos africanus usw. Die Insekten sind besonders durch Skarabäen vertreten. Nicht minder zahlreich sind die Pflanzenreste.

Die Ägypter gelangten auch zu chemischen Operationen, deren Ziel die Herstellung von Heilmitteln aus pflanzlichen Stoffen war. So ist bekannt geworden, daß sie zu diesem Zwecke die Destillation ausübten[2]) und sich dabei der von ihnen erfundenen Glasgefäße bedienten. In geringem Umfange fanden auch schon anorganische Stoffe, wie Eisenoxyd, als Heilmittel Verwendung, so daß schon in den ältesten Zeiten ein gewisser Zusammenhang von chemischem Können mit der Pharmazie sich herausbildete[3]).

Ihren Höhepunkt erreichte die altägyptische Kultur um das Jahr 2000 vor Christi Geburt. Um diese Zeit wurde Ägypten zur Großmacht, die erobernd in Vorderasien eindrang und mit dem babylonischen Reich in enge Fühlung trat. Es bestand sogar ein reger schriftlicher Verkehr zwischen den Pharaonen und den Königen Babylons, sowie asiatischen Vasallen. Dies beweisen die in großer Zahl im Jahre 1888 in Ägypten[4]) aufgefundenen Tontafeln mit Keilinschriften, welche heute den wertvollsten Schatz der Museen von Kairo, London und Paris bilden.

Nachdem wir das Entstehen der ersten Wurzeln von Kultur und Wissenschaft in Vorderasien und Ägypten gewürdigt haben, erübrigt noch eine kurze Betrachtung der in Indien und in China entstandenen Kulturelemente. Die Bedeutung der Inder für die Entwicklung der Wissenschaften ist erst auf Grund der neueren Sanskritforschung in das rechte Licht gerückt worden, wenn auch noch manche Zweifel und Unklarheiten geblieben sind. Erst seit

[1]) Eduard Meyer, Ägypten zur Zeit der Pyramidenerbauer. Leipzig 1908 (Sendschrift der deutschen Orientgesellschaft).

[2]) Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Engelmann, Leipzig 1899. S. 9.

[3]) Meyer. Geschichte der Chemie. S. 16.

[4]) In Tell el Amarna in Mittelägypten.

der Begründung der vergleichenden Sprachforschung durch Franz Bopp ist man zu der Erkenntnis gelangt, daß die Inder mit den Griechen, Römern und Germanen eines Stammes sind. Welches die Heimat des indogermanischen Urvolkes war, wird sich wohl nie ermitteln lassen. Soviel dürfen wir indessen annehmen, daß es sich um ein Hirtenvolk handelte, das innerhalb eines gemäßigten Klimas erstarkt war und infolgedessen zu wandern begann. Der neue Boden mußte aber nicht nur der Natur, sondern auch einer auf niedriger Stufe stehenden Urbevölkerung abgerungen werden. So drangen die Inder mit ihren Rossen und Rindern von Nordwesten her, wenigstens 4000 Jahre vor Beginn unserer Zeitrechnung, in die nach ihnen benannte Halbinsel ein. Zunächst setzten sie sich im Gebiete des Indus fest und drängten von hier aus die dunklen Urbewohner nach Süden und in die Gebirge zurück.

Während der ersten Stufen, welche die Kulturentwicklung in Indien durchlief, wird keine oder nur eine geringe Fühlung mit den Mittelmeervölkern bestanden haben. Indes schon mit dem ersten Aufdämmern der Geschichte ist ein Verkehr Indiens mit dem Westen wie mit China nachweisbar, so daß der frühere Glaube an die völlige Abgeschlossenheit der süd- und ostasiatischen Kultur einer anderen Auffassung hat weichen müssen. In der allerersten Zeit war es der Handel, der eine Verbindung herstellte und dabei den Seeweg bevorzugte. Auf diesem Wege gelangten die Erzeugnisse Indiens nach dem Arabischen Meerbusen und von dort den Euphrat und Tigris hinauf. Ja, selbst die Ostküste des entfernten Ägyptens unterhielt lebhafte Handelsbeziehungen zu Indien. Und in späterer Zeit durchfuhren selbst griechische Schiffe das rote Meer und den indischen Ozean, in welchem sich die Seefahrer den regelmäßigen Wechsel der Monsunwinde zunutze machten.

Einem Austausch der Waren wird zu allen Zeiten ein Austausch des Wissens parallel gegangen sein. Ein weiteres kräftiges Ferment für eine wechselseitige Befruchtung waren ferner die Ausbreitung der Religionen und die Eroberungszüge. So entstanden später infolge des Alexanderzuges an den Grenzen Indiens griechische Königreiche, die einen regen Austausch auch geistiger Erzeugnisse zwischen den Bewohnern der Mittelmeerländer und Südasiens vermittelten. Zur römischen Kaiserzeit und während der byzantinischen Periode fand sogar ein Verkehr zwischen den indischen und den westlichen Höfen durch Gesandtschaften statt. Ja, unter Kaiser Antoninus ist sogar eine römische Gesandtschaft am chinesischen Hofe erschienen.

Für eine Geschichte der Wissenschaften kommt insbesondere der Einfluß in Betracht, welchen die Inder auf medizinischem und astronomisch-mathematischem Gebiete auf die westlich von ihnen wohnenden Völker ausgeübt haben. So besaßen später die Araber nicht nur in Galen, sondern nicht minder in den Indern Lehrmeister in der Anatomie und Chirurgie. Unter den Naturerzeugnissen Indiens befand sich ferner mancher Stoff, der von den Bewohnern als heilkräftig erkannt und anderen Völkern übermittelt wurde. So hatten sich bei Alexander[1]) geschickte indische Ärzte eingefunden, die sich besonders auf die Heilung von Schlangenbissen verstanden. Als ein Beweis für das Alter der indischen Medizin mag auch gelten, daß die Ärzte bei den Indern in hoher Achtung standen[2]).

Unter den späteren astronomisch-mathematischen Schriftstellern der Inder sind besonders Aryabhatta (um 500 n. Chr.) und Brahmagupta (um 600 n. Chr.) zu nennen. Bei der Beurteilung ihrer Leistungen ist indessen zu berücksichtigen, daß in den Werken der Sanskritliteratur, die vor Aryabhatta entstanden, auch griechische Einflüsse auf die indische Wissenschaft stattgefunden haben. Hatte es doch lange den Anschein, als ob manche Lehren älterer Sanskritwerke von den Griechen stammen[3]). Doch wird neuerdings den Erzeugnissen der Sanskritliteratur eine größere Selbständigkeit zuerkannt.

Die ältesten Schriften der indischen Literatur sind die Vedas. In ihnen spiegelt sich das religiöse und soziale Leben der Inder wieder; sie enthalten aber auch die ersten Anfänge der Wissenschaften, die sich bei diesem merkwürdigen Volke zumeist im engsten Zusammenhange mit religiösen Gebräuchen und Empfindungen entwickelt haben. In höchst eigenartiger Weise hat z. B. der Opferdienst die Entwicklung der indischen Mathematik beeinflußt. Die Gestaltung der Altäre war nämlich nach der Ansicht der Inder für den Erfolg des Opfers von der allergrößten Bedeutung. So heißt es in einer Vorschrift: „Wer die himmlische Welt zu erlangen wünscht, schichte den Altar in Gestalt eines Falken.“ Diese Aufgabe setzt aber eine bedeutende Kenntnis der Flächengeometrie voraus, da sämtliche Steine einer Schicht polyedrisch gestaltet und lückenlos aneinander gefügt die Figur des Falken ergeben mußten. Erhöht wurde die Schwierigkeit dadurch, daß

[1]) Nach Arrian.
[2]) Larsen, Indische Altertumskunde. II. 511.
[3]) Cantor, I. 509.

die zweite Schicht, die gleich der ersten etwa zweihundert Steine enthielt, eine andere Anordnung aufweisen und dennoch als Ganzes die erste Schicht decken mußte. Dabei war jedes Formverhältnis von entscheidender Wichtigkeit, da es nach der Auffassung der Inder, Segen oder Unheil bringen konnte[1]).

Die Schrift über die Altäre ist nach der Ansicht des Herausgebers (Bürk, s. unten) im 4. oder 5. Jahrhundert v. Chr., wenn nicht früher, verfaßt worden. Durch ihre, beim Bau der Altäre geübte Technik sind die Inder wahrscheinlich auch mit dem Satze vom Quadrat der Hypothenuse schon vor dem 5. Jahrhundert v. Chr. bekannt geworden. Damit ist jedoch nicht etwa gesagt, daß sie den allgemeinen Beweis des Pythagoreischen Lehrsatzes gefunden hätten. Wir dürfen nämlich nicht vergessen, daß auch die unmittelbare geometrische Anschauung sehr oft die Quelle neuer Wahrheiten gewesen ist. So finden wir, daß bei gewissen indischen Altären vier Quadrate (Abb. 6) sich zu einem größeren Quadrat ergänzen. Die vier Diagonalen der kleineren Quadrate ergeben ein neues, über der Hypothenuse AC des gleichseitigen rechtwinkligen Dreiecks ABC errichtetes Quadrat. Hier beweist die unmittelbare Anschauung die Gültigkeit des Pythagoreischen Lehrsatzes für diesen besonderen Fall. In der von Bürck veröffentlichten indischen Quelle[2]) heißt es demnach in weiterer Verallgemeinerung: „Die Diagonale eines Rechtecks bringt beides hervor, was die längere und die kürzere Seite des Rechtecks jede für sich hervorbringen[3]).“

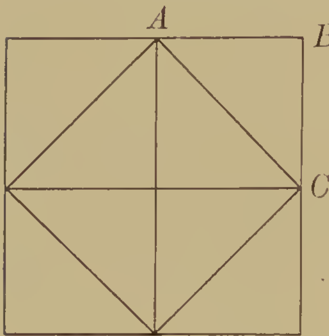


Abb. 6. Geometrische Konstruktionen der Inder.

Die früher wohl geltende Meinung, daß die indische Mathematik in der Hauptsache griechischen Ursprungs sei, kann also heute, nach der Veröffentlichung wichtiger indischer Quellen[4]), nicht

[1]) Bürk in der Zeitschrift der Deutschen morgenländischen Gesellschaft. Bd. 55 u. 56.

[2]) Kap. I. 4. in der Zeitschrift der Deutschen morgenländischen Gesellschaft. 56. Bd. (1902.) S. 328.

[3]) Die Konstruktion von Altären unter Verwendung rechtwinkliger Dreiecke, deren Seiten sich wie ganze Zahlen verhalten, geht vielleicht in das 8. vorchristliche Jahrhundert zurück. Mitteil. z. Geschichte d. Medizin u. Naturwissenschaften. 1906. S. 473.

[4]) Vor allem des Apastamba Sulbasutra.

mehr aufrecht erhalten werden. Höchst wahrscheinlich haben die Inder den pythagoreischen Lehrsatz und die Ableitung rationaler rechtwinkliger Dreiecke schon im 8. Jahrhundert v. Chr. gekannt[1]).

Unter den rechtwinkligen rationalen Dreiecken waren den Indern um jene Zeit z. B. diejenigen bekannt, deren Seiten sich verhalten wie:

3 : 4 : 5
5 : 12 : 13
8 : 15 : 17.

Um einen rechten Winkel abzustecken, bediente man sich, wie in Ägypten und später in Griechenland, des Verfahrens des Seilspannens. Die Seitenlängen, welche die Inder dabei benutzten, verhielten sich in der Regel wie 15 : 36 : 39[2]). Trotz alledem bleibt es wahrscheinlich, daß erst die Griechen von den zahlreichen, bekannt gewordenen Einzelfällen zu dem allgemeinen, früher dem Pythagoras zugeschriebenen, geometrischen Satz gelangt sind.

Auch für eine annähernde Quadratur des Kreises findet sich[3]) bei den alten Indern eine Regel. Handelt es sich darum, einen dem Quadrate ABCD flächengleichen Kreis zu finden, so wird ME = AM und zwar senkrecht zu AB gezogen (Abb. 7). Zu MG wird NG = 1/3 GE hinzugefügt. Mit der so erhaltenen Strecke MN als Radius wird dann der Kreis um M geschlagen. In der indischen Vorschrift heißt es: „Soviel wie (an den Ecken) verloren geht, kommt (die Segmente) hinzu."

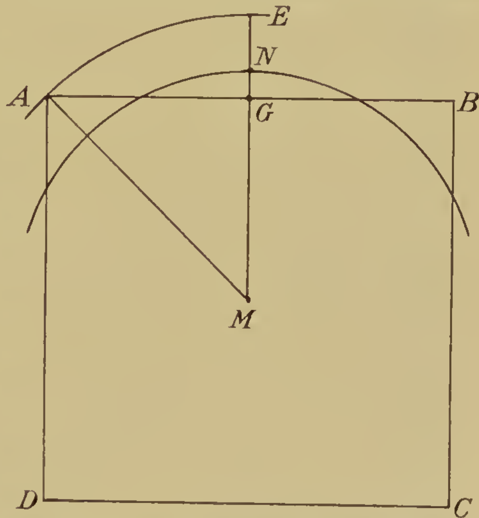


Abb. 7. Die Quadratur des Kreises bei den Indern

Von jeher haben die Inder als ein besonders für die Arithmetik beanlagtes Volk gegolten. Ist es doch ihr Verdienst, das Positionssystem und seine wohl als arabisch bezeichneten Ziffern erfunden zu haben. Wie uns die Tafeln

[1]) Siehe Zeuthens Bemerkungen in der Biblioth. mathem. (3. Folge). V. 97—112.

[2]) Cantor, Über die älteste indische Mathematik. Arch. f. Math. und Physik. 1904.

[3]) Ap. Sulb. Sutra. III. 2. Zeitschr. d. morgenl. Gesellsch Bd. 55 u. 56. Abhandlung Bürks.

von Senkereh[1]) beweisen, besaßen die Babylonier ein Positionssystem, das sexagesimal war und noch die Null entbehrte. Die Inder entwickelten durch Einführung der Null und der dekadischen Einheiten die heutige Positionsarithmetik, welche dann später dem Abendlande durch die Araber übermittelt wurde.

Je mehr die archäologischen Forschungen uns mit dem Wissen des alten Orients bekannt machen, um so mehr befestigt sich die Überzeugung, daß in einer drei- bis viertausend Jahre zurückliegenden Zeit die Babylonier, die Inder und die Ägypter einen gemeinsamen Besitz an Kenntnissen besaßen. Ohne Zweifel sind jene ersten Kulturvölker unabhängig voneinander in den Besitz mancher Wahrheit gelangt. Doch hat gewiß auch ein viel regerer Austausch der Kenntnisse stattgefunden als man bisher angenommen hat[2]).

Für die engen Beziehungen, die zwischen Babylon und Ägypten bestanden, fehlt es nicht an Beweisen[3]). Als ein Zeichen, daß der babylonische Einfluß auch nach Indien ja selbst bis China reichte, kann die Tatsache betrachtet werden, daß die indischen und die chinesischen Quellen die Dauer des längsten Tages auf $14^h 24'$ angeben, ein Wert, der für Babylon bis auf eine Minute zutrifft[4]).

Während die wechselseitige Beeinflussung des ältesten ägyptischen, babylonischen und indischen Wissens mehr vermutet als im einzelnen nachgewiesen werden kann, sind die Beziehungen einerseits zwischen indischer, andererseits zwischen griechischer und arabischer Wissenschaft deutlicher zu erkennen. Insbesondere hat zwischen Indern, Griechen und Arabern ein Austausch mathematischer und astronomischer Kenntnise stattgefunden. Da wir auf die Inder in späteren Abschnitten nicht mehr zurückkommen werden, so soll an dieser Stelle noch einiges über die Entwicklung, die besonders die Rechenkunst bei den für die Arithmetik so gut beanlagten Indern genommen hat, ins Auge gefaßt werden.

Unbestritten ist das Verdienst der Inder, die neuen Zahlzeichen und die Null geschaffen und das Ziffernrechnen unter Anwendung des Stellenwertes zu hoher Ausbildung gebracht zu haben. Das Rechnen mit der Null ist schon zur Zeit des Brahmagupta in Gebrauch gewesen. Auch die Schreibweise für die Brüche und

1) Siehe S. 14.

2) Cantor, Über die älteste indische Mathematik i. Arch. f. Math. u. Phys. 8. Bd. (1904).

3) Siehe S. 12.

4) Cantor, a. a. O. S. 71.

die Bruchrechnung weichen von den heute geltenden Regeln kaum ab. Zwar fehlte der Bruchstrich, doch wurde der Zähler schon über den Nenner gestellt. Bei gemischten Brüchen kamen die Ganzen in eine dritte, noch höhere Stufe; $2^3/_4$ schrieb man z. B. $\begin{matrix}2\\3.\\4\end{matrix}$ Das Multiplizieren der Brüche lehrt Brahmagupta mit folgenden Worten; „Das Produkt aus den Zählern teile durch das Produkt aus den Nennern.“ Bei den indischen Mathematikern finden sich ferner Regeldetriaufgaben mit direktem, indirektem und zusammengesetztem Ansatz. Letztere werden in mehrere einfache Regeldetriaufgaben zerlegt. Es sind sogar besondere Kunstausdrücke für die Regeldetri-Rechnung in Gebrauch[1]).

Wie die Inder durch Einführung der Null und des Positionssystems den größten Fortschritt für die Arithmetik schufen, so erwarben sie sich für die Algebra kein geringeres Verdienst durch die Einführung der Begriffe positiv und negativ. Sogar die Erläuterung dieser Begriffe durch die Worte Schulden und Vermögen, ja ihre Erklärung durch Vorwärts- und Rückwärtsschreiten auf einer gegebenen Strecke, war ihnen schon geläufig. Wollte man eine Zahl als negativ bezeichnen, so wurde ein Punkt darüber gesetzt. Selbst bei den Gleichungen wurden negative Lösungen, welche Diophant (350 n. Chr.) noch für unstatthaft erklärte, zugelassen.

Was die arithmetischen und die geometrischen Reihen, die Quadrat- und die Kubikzahlen anbelangt, so konnten die Griechen in dieser Hinsicht von den Indern wenig lernen. Letzteres Volk schuf jedoch die Kombinationslehre und die Anfangsgründe der Algebra. Ferner gelangte man in Indien dadurch über die Lehre von den Potenzen einen Schritt hinaus, daß man für die irrationale Quadratwurzel eine Bezeichnung einführte. An das Erheben in die 2. und die 3. Potenz schlossen die Inder als Umkehrungen dieser Operationen das Ausziehen der Quadrat- und der Kubikwurzel. Hierbei bedienten sie sich schon der binomischen Formeln für $(a+b)^2$ und $(a+b)^3$. Ja, ihre Art die Wurzeln zu finden, stimmte soweit mit dem heutigen Verfahren überein, daß bei ihnen selbst das Abteilen der zu radizierenden Zahl zu je zwei oder drei Stellen nicht fehlte.

Auf dem Gebiete der Algebra entwickelten die Inder vor allem die Lehre von den Gleichungen verschiedenen Grades. Für die unbekannte Größe wird ein Zeichen gebraucht. Als ein Beispiel

1) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. I. S. 98.

zugleich für die poetische Form, in welche die Inder solche Aufgaben einkleideten, diene folgendes: Von einem Schwarm Bienen läßt $^1/_4$ sich auf einer Blume nieder, $^2/_3$ fliegt zu einer anderen Blume, eine Biene bleibt übrig, indem sie gleichsam durch den lieblichen Duft beider Blumen angezogen in der Luft schwebt. Sage mir, reizendes Weib, die Anzahl der Bienen.

Noch bedeutender waren die Leistungen der Inder in der Theorie der Zahlen, doch würde ein näheres Eingehen auf diese Seite der Mathematik zu weit von dem Zwecke dieses Buches entfernen, welches die Mathematik nur insoweit berücksichtigen will, als sie für die Entwicklung der Naturwissenschaften von Bedeutung gewesen ist. Für die Auflösung von kubischen Gleichungen findet sich bei den Indern wie bei Diophant nur ein vereinzeltes Beispiel.

Nicht uninteressant ist ein kurzer Überblick über den Umfang der indischen Arithmetik, welche zwanzig Operationen und acht Bestimmungen umfaßte, die jedem Meister der Rechenkunst geläufig sein mußten[1]). Zu den 4 Grundrechnungen, dem Potenzieren und Wurzelziehen traten 6 Operationen mit Brüchen und 5 als einfache und zusammengesetzte Regeldetri; ferner gab es eine Regel über den Tausch. Die Bestimmungen betrafen Mischungen, Flächen- und Körperinhalte, Zinsberechnung, Schattenrechnung usw. Nach Burkhardt (Wie man vor Zeiten rechnete; Zeitschr. f. d. math. u. naturw. Unterr. 1905. 1. Heft), läßt sich annehmen, daß seit dem 5. Jahrhundert n. Chr. in Indien im wesentlichen ebenso gerechnet wurde, wie heute bei uns. Auch steht fest, daß die Araber ihre Ziffern und ihre Rechenmethode von den Indern erhalten haben.

Was man in den Sanskritwerken an geometrischen Lehren angetroffen hat, ist weniger bedeutend, nach Cantor vielleicht zum Teil auf alexandrinischen Ursprung, insbesondere auf Heron zurückzuführen[2]). Davon, daß die Inder mit den Kegelschnitten bekannt gewesen, findet sich nirgends eine Andeutung. Dieser Teil der Geometrie ist ausschliesslich griechischen Ursprungs. Dagegen blieb es den Indern als dem vorwiegend für die Arithmetik veranlagten Volke vorbehalten, die ersten allgemeinen Sätze der Kombinationslehre zu finden, eine Errungenschaft, zu welcher die Griechen, soweit unsere Kenntnis reicht, nicht durchgedrungen sind.

---

1) Siehe Arneth, Die Geschichte der reinen Mathematik. S. 143.

2) Cantor, Geschichte der Mathematik. I. 540.

Einen wesentlichen Fortschritt erfuhr die Trigonometrie bei den Indern, indem sie für die Sehne des Winkels deren Hälfte und somit den Sinus einführten. Es war dies ein Fortschritt, den erst die Araber in seiner vollen Bedeutung erkannten und zur Geltung brachten.

Die erste indische Sinustabelle begegnet uns um 500 n. Chr.[1]. Der Kreis hat dort wie bei den Babyloniern und den Alexandrinern 360 gleiche Teile. Jeder Teil zerfällt in 60 kleinere Abschnitte (unsere Minuten), von denen der ganze Kreis also $60 \cdot 360 = 21600$ enthält. Der Radius wird durch diese kleinsten Teile des Kreises gemessen. Nach einem von den Indern für das Verhältnis der Peripherie zum Durchmesser angenommenen Werte ergab sich für den Radius die Zahl 3448. Da der Sinus, als halbe Sehne des doppelten Winkels betrachtet, für 90^0 gleich dem Radius wird, so erscheint für 90^0 in der Tabelle jener Wert 3448. Für sin 60^0 wird 2978, für sin 30^0 wird 1719 angegeben.

In bezug auf die Naturwissenschaften besaßen die Inder zwar zahlreiche Einzelkenntnisse. Zur Aufstellung naturwissenschaftlicher Lehrgebäude gelangten sie indessen ebensowenig wie die Babylonier oder die Ägypter. Diese Tat blieb vielmehr den Griechen vorbehalten. In physikalischer Hinsicht ist erwähnenswert, daß die Kenntnis des Brennglases und der Brennspiegel bei den Indern sehr weit zurückreicht. So erwähnt eins ihrer ältesten Bücher[2], daß getrockneter Mist sich entzünde, wenn man die Sonnenstrahlen mittelst eines Steines oder Glases oder auch eines Metallgefäßes darauf werfe[3]. Übrigens kannten die Griechen im Zeitalter des Aristoteles gleichfalls schon die Feuererzeugung mit Hilfe eines durchsichtigen Steines[4]. Auf Grund einiger Sanskritstellen hat man den alten Indern die Kenntnis des Schießpulvers zugeschrieben. So wird ein König aus dem dritten vorchristlichen Jahrhundert genannt, der „Feuerwerke“ angeordnet habe. Daraus aber auf eine so frühzeitige Kenntnis der Inder zu schließen, erscheint doch recht gewagt[5].

---

[1] Sie findet sich bei Aryabhatta (geb. 476 n. Chr.), dem ältesten indischen Astronomen, dessen Schriften auf unsere Zeit gekommen sind.

[2] Das Nirukta.

[3] Roth, „Indische Feuerzeuge“. Zeitschrift der morgenländischen Gesellschaft. 1889.

[4] Aristophanes, Wolken v. 766.

[5] Über die „Schießpulverfrage im alten Indien“, siehe die Mitteilungen zur Gesch. d. Med. u. d. Naturwissensch. 1905. S. 1 u. f.

Daß die so überaus üppige Natur eines Landes wie Indien ein frühzeitiges Emporblühen der Pflanzenkunde und einer auf ihr beruhenden Heilkunde hervorrief, ist leicht erklärlich. In der Sanskritliteratur fehlt es daher nicht an Werken, die eine große Menge von Heilmitteln, Nahrungsmitteln und Giften anführen. Es ist jedoch nur selten möglich, die Art, um die es sich handelt, zu bestimmen. Am häufigsten wird Nelumbium speciosum, eine prächtige Seerose, erwähnt. Neben den Pflanzen wurden aber auch Metalle und Chemikalien von den alten Indern zu Heilzwecken verwendet. Am ausführlichsten berichtet über den Stand ihrer naturwissenschaftlichen und medizinischen Kenntnisse die Ayur-Veda Susrutas. Das Werk umfaßt sechs Bücher, die sich im wesentlichen mit der Lehre von den Heilmitteln, der Anatomie, der Pathologie und der Therapie beschäftigen. Das Knochensystem des Menschen enthält nach Susrutas Aufzählung 300 Knochen. In der Schule des Susruta wurden schon Leichen zergliedert und in fließendem Wasser präpariert. Daraus erklärt sich die erstaunliche Höhe der anatomischen Kenntnisse, welche die Inder schon im 6. Jahrh. v. Chr. besaßen[1]. Susruta war auch schon mit dem diabetischen Zucker bekannt, während die Beobachtung, daß der diabetische Harn auffallend süß ist, in Europa erst im 17. Jahrhundert gemacht wurde[2].

Unter den Heilmitteln[3] erwähnt Susruta Quecksilber, Silber, Arsen, Antimon, Blei, Eisen und Kupfer. Auch Alaun und Salmiak fanden sich im Arzneischatz der alten Inder. Wann die Ayur-Veda entstand, ist nicht sicher bekannt. Einige legen die Zeit ihrer Entstehung weit vor Christi Geburt. Susrutas Werk umfaßt nicht weniger als 760 Heilmittel, die allerdings zum weitaus größten Teile aus dem Pflanzenreiche stammen. Als das älteste medizinische Werk der Inder wird die Rig-Veda betrachtet, deren Alter auf 3400 Jahre angegeben wird[4].

Wie die alten Babylonier so operierten auch die Inder den Star. Nachrichten darüber reichen etwa bis zum Beginn unserer Zeit-

1) Hoernle, Studies in the Medicine of ancient India. Oxford 1907.

2) E. v. Lippmann, Abhandlungen und Vorträge. 1906.

3) Z. Berendes, Das Apothekenwesen, seine Entstehung und geschichtliche Entwicklung. Stuttgart 1907.

4) Häser, Geschichte der Medizin. Bd. I. (1875). S. 9.

Ein Sanskrittext, der sich gegen den Genuß des Fleisches, der alkoholischen Getränke und gegen die geschlechtliche Liebe wendet, findet sich in der Zeitschrift der deutschen morgenländischen Gesellschaft. Jahrg. 1907, in der Übersetzung wiedergegeben.

rechnung zurück. Die Operation wurde mit zwei Instrumenten ausgeführt. Das eine diente zum Öffnen des Augapfels; mit dem anderen wurde die getrübte Linse entfernt[1]).

Weit isolierter als die indische Kultur, welche doch mit der griechischen und mit der arabischen Welt in mannigfache Berührung kam, blieb die chinesische. Nicht nur, daß China durch riesige Gebirge und weite, öde Länderstrecken von den Völkern Vorderasiens und der Mittelmeerländer getrennt war, es fehlte auch die Rassengemeinschaft, welche die Arier Indiens mit den Persern und den westlichen Indogermanen verband. Dennoch hat schon im Altertum der Handel eine Verbindung zwischen dem äußersten Osten Asiens und dem Mittelmeer geknüpft. Diese Verbindung erfolgte durch den Seeverkehr über den indischen Ozean. China lieferte dem Westen besonders Seide und empfing dafür Edelmetall, Glasgegenstände und Bernstein. Durch die immer weitere Ausdehnung ihrer Eroberungszüge kamen das römische und das chinesische Reich am Kaspischen Meere einander nahe. Sogar der Einfluß der in Vorderasien entstandenen Nestorianersekte hat sich bis nach China ausgedehnt. Ein in Singanfu errichtetes Denkmal mit chinesischer und syrischer Inschrift gibt uns davon Kunde[2]). Trotzdem hat keine andere Kultur der alten Welt so wenig Einflüsse von außen erfahren und so wenig wiederum nach außen gewirkt wie diejenige Chinas, so daß dieses Land für die Entwicklung, welche die Wissenschaften genommen haben, kaum in Betracht kommt. Zwar hat sich das Interesse seiner Bewohner frühzeitig mathematischen und astronomischen Dingen zugewandt, ein wenn auch unvollkommenes Verfahren des Buchdrucks wurde erfunden, und eine Literatur entstand, die der arabischen an Umfang wohl gleich kam. Die gewerblichen Erzeugnisse übertrafen oft diejenigen der westlichen Völker. Dennoch war der Einfluß nach außen sehr gering. Selbst eine so wichtige Erfindung wie diejenige des Kompasses, welche in China erfolgte, blieb den Mittelmeervölkern über ein Jahrtausend unbekannt.

Für das hohe Alter der Astronomie bei den Chinesen spricht die frühzeitige Erwähnung von Kometen- und Planetenkonjunktionen in ihrer Literatur. Als Europa mit der Literatur der Inder näher bekannt wurde, erstaunte man über das hohe Alter der astrono-

[1]) S. Hirschberg, Der Starstich der Inder. Zeitschr. f. prakt. Augenheilk. Januarheft 1909.

[2]) Lindner, Weltgeschichte. Bd. I. S. 413

mischen Tafeln dieses Volkes. Das Gleiche gilt von den Chinesen, deren astronomische Literatur zu Beginn des 18. Jahrhunderts durch Jesuiten, die in China Aufnahme gefunden hatten, bekannt wurde. Es zeigte sich, daß die Astronomie dort schon um 1000 v. Chr. eine nicht geringe Höhe erreicht hatte. Indessen ist ihre weitere Entwicklung nur sehr langsam gewesen[1]). So geht z. B. ein Kometenverzeichnis bis auf das Jahr 2296 v. Chr. zurück[2]). Ferner erwähnt einer der Jesuiten, welche die Chinesen mit der europäischen Astronomie bekannt machten, eine von den Chinesen aufgezeichnete Planetenkonjunktion vom Jahre 2461 v. Chr.[3]). Es ist jedoch wahrscheinlich, daß es sich dabei nicht um eine wirkliche Beobachtung, sondern nur um eine rückwärts berechnete astronomische Erscheinung gehandelt hat. Mit dem Gnomon waren die Chinesen schon um 1100 v. Chr. bekannt. Sie ermittelten daran die Schiefe des Ekliptik, bestimmten die Dauer des Jahres zu 365 1/4 Tagen[4]) und kannten schon die regelmäßige Wiederkehr der Finsternisse. Es kam vor, daß man Astronomen mit dem Tode bestrafte, wenn sie eine Finsternis nicht richtig vorhergesagt hatten. Ein Fall dieser Art soll sich schon um 2000 v. Chr. zugetragen haben[5]).

Daß Ostasien auch während des Mittelalters mit der übrigen Kulturwelt Beziehungen unterhielt, beweist uns das Auftauchen alchemistischer Bestrebungen in China um 800 n. Chr. Die chinesischen Quellen lassen erkennen, daß auch die theoretischen Vorstellungen, denen die Alchemisten im Reiche der Mitte huldigten, von den Arabern stammen[6]).

---

1) Siehe auch W. Förster, Die Astronomie des Altertums und Mittelalters. Berlin 1876.

2) Wolff, Geschichte der Astronomie. S. 11.

3) Baden-Powell, History of natural philosophy. London 1834. S. 11.

4) Siehe auch H. Löschner, Über Sonnenuhren. Beiträge zu ihrer Geschichte und Konstruktion nebst Aufstellung einer Fehlertheorie. Graz 1905.

5) Mitteilungen zur Gesch. d. Medizin und der Naturwissenschaften. 1908. S. 351.

6) Näheres enthält die Abhandlung R. Ehrenfelds in den Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften. 1908. S. 144 u. f.

2. Die Entwicklung der Wissenschaften bei den Griechen bis zum Zeitalter des Aristoteles.

Manches von den in Vorderasien und Unterägypten entstandenen Grundlagen der Wissenschaften wurde nebst anderen Kulturelementen von den Phöniziern aufgenommen, welche sie, als das wichtigste Handelsvolk der alten Welt, den übrigen Anwohnern des Mittelmeeres überbrachten. Bei den Griechen, die mit der am Nil und am Euphrat entstandenen Kultur bald auch in unmittelbare Fühlung kamen, fielen diese aus dem Orient stammenden Ansätze auf den fruchtbarsten Boden. Sie wurden nicht etwa nur assimiliert, sondern als das Fundament für geradezu bewundernswerte Neuschöpfungen verwendet. Die Phönizier verbreiteten als das wichtigste Mittel für jede weitere Entfaltung wissenschaftlicher Tätigkeit auch die Buchstabenschrift[1]), die sich aus den, Silben und ganze Wörter bezeichnenden Hieroglyphen entwickelt hatte. Erst nachdem dies geschehen, vermochte man mit klarem Bewußtsein das Abstrakte von den Dingen zu trennen und auf solche Weise zur Ausbildung systematisch geordneter Wissenschaften vorzudringen[2]).

Sobald die Griechen aus dem Dunkel der Sage in das Licht der Geschichte treten, begegnet uns bei ihnen das Bestreben, die Welt der Erscheinungen nicht bloß betrachtend in sich aufzunehmen, sondern sie auch in ihrem ursächlichen Zusammenhange zu begreifen. Dies geschah einmal dadurch, daß sie die Anfänge der mathematischen Erkenntnis auf die Naturvorgänge anwandten. Zum anderen aber auch, indem sie, weit über alles Maß hinausschreitend, sofort den letzten Grund des Geschehens zu begreifen trachteten. Und zwar erfolgten diese ersten Regungen des wissenschaftlichen Denkens nicht im eigentlichen Hellas, sondern in den ionischen Kolonien. Letztere nahmen zwischen der asiatischen Kultur und dem jungfräulichen Boden Griechenlands eine ver-

[1]) Auch H. Winkler wendet sich in einer Abhandlung über die Bedeutung der Phönizier für die Kulturen des Mittelmeeres (Zeitschr. f. Sozialwissenschaft 1903. Bd. IV. Nr. 6 u. 7) gegen die Auffassung, als ob die Phönizier die Buchstabenschrift erfunden hätten. Er ist der Ansicht, daß sich das Verständigungsmittel geistigen Lebens an dessen Mittelpunkt entwickelt haben wird und die phönizische Schrift im Anschluß an die Keilschriftliteratur entstanden ist. Übrigens haben auch die arischen Perser die zu monumentalen Inschriften beibehaltene Keilschrift zu einer Buchstabenschrift umgestaltet (L. Wilser in den Mitteil. z. Gesch. d. Med. u. Naturwissensch. 1905. 32).

[2]) K. Suter, Geschichte der mathematischen Wissenschaften. Zürich 1873.

mittelnde Stellung ein. Auch hatten sie schon einige Jahrhunderte vor dem Beginn der Philosophie und der Naturwissenschaften ihre Blütezeit auf dem Gebiete der Dichtkunst erlebt.

Als der erste Grieche, der in den beiden soeben gekennzeichneten Richtungen wirkte, gilt Thales von Milet. Obgleich von ihm herrührende Werke nicht auf uns gekommen sind und er seine Lehren wahrscheinlich auch nur mündlich überliefert hat, sind uns doch letztere, sowie seine Entdeckungen und sein Lebensgang durch die Aufzeichnungen alter Schriftsteller hinlänglich bekannt geworden, um uns ein ungefähres Bild von Thales[1]) machen zu können.

Thales wurde um 640 v. Chr. geboren, wirkte also zu der Zeit, als Athen durch Solon die Grundlagen seiner Verfassung erhielt. Darin, daß Thales in Ägypten gewesen und dort mit der Priesterkaste, damals der Hüterin aller mathematischen und astronomischen Kenntnisse, in Berührung getreten sei, stimmen alle Berichte überein. „Thales, der nach Ägypten ging“, so wird uns erzählt, „brachte zuerst die Geometrie nach Hellas. Vieles entdeckte er selbst, von vielem aber überlieferte er die Anfänge seinen Nachfolgern“[2]). An anderer Stelle heißt es von ihm: „Er beobachtete den Himmel, musterte die Sterne und sagte öffentlich allen Miletern vorher, daß am Tage Nacht eintreten, die Sonne sich verbergen und der Mond sich davorlegen werde[3]).

Diese Vorausbestimmung einer Sonnenfinsternis ist jedoch nicht etwa eine solche im heutigen Sinne. Sie erfolgte nämlich nicht durch Rechnung, sondern beruhte ausschließlich auf der Beobachtung derjenigen Periode, innerhalb deren die Finsternisse regelmäßig wiederkehren. Jene Periode war den Babyloniern nicht entgangen. Sie befanden sich im Besitz von Aufzeichnungen, die sich über Jahrhunderte erstreckten und einen Zeitraum von 6585 Tagen bezüglich der regelmäßigen Wiederkehr der Finsternisse erkennen ließen. Innerhalb dieses 223 Monate umfassenden Zeitraums, den die Babylonier Saros nannten[4]), kehrt nämlich der Mond fast

1) Im Archiv für Geschichte der Philosophie (1902. S. 311) hat Peithmann in einer Abhandlung über die Naturphilosophie vor Sokrates neuerdings die Anschauung zu begründen versucht, daß Thales sich nicht als Philosoph, sondern nur als Astronom und Ingenieur verdient gemacht habe. Nach Peithmann hat es den Anschein, daß erst Aristoteles den Thales unverdienterweise zu einem Philosophen gemacht hat.

2) Cantor, Geschichte der Mathematik. Leipzig 1880. I. S. 113.

3) A. a. O S. 114.

4) Siehe oben S. 20.

genau in dieselbe Stellung zur Erde und zur Sonne zurück. Allerdings machte man auch die Erfahrung, daß sich der Saros, insbesondere für die Voraussage der Sonnenfinsternisse, nicht immer bewährte.

Wie unentwickelt im übrigen die astronomischen Vorstellungen der Griechen zur Zeit des Thales noch waren, geht daraus hervor, daß nach den ihm zugeschriebenen Lehren die Erde eine vom Okeanos umflossene Scheibe ist, über die sich der Himmel wie eine Kristallglocke wölbt. Unter solchen Umständen konnte noch nicht einmal von einer Kreisbewegung der Gestirne die Rede sein. In Übereinstimmung mit dieser Lehre nahm man zur Zeit des Thales an, die Sterne sänken bei ihrem Untergange in den Ozean und schwömmen in diesem am Rande der Scheibe entlang zu ihren Aufgangspunkten zurück.

Auf Thales werden ferner von den Griechen, die über die Mathematik geschrieben haben, einige der wichtigsten geometrischen Sätze zurückgeführt, so der Satz von der Gleichheit der Winkel an der Grundlinie eines gleichschenkeligen Dreiecks, sowie der Satz, daß ein Dreieck durch eine Seite und die anliegenden Winkel bestimmt ist. Mit Hilfe dieses Satzes wurde z. B. die Entfernung der Schiffe vom Lande ermittelt.

Bezüglich der geometrischen Kenntnisse des Thales läßt sich jedoch nicht mehr entscheiden, wieviel Eigenes und wieviel von den Ägyptern Entlehntes darunter ist. Eine bekannte Anwendung der Mathematik ist seine Schattenmessung. Es ist dies ein Verfahren, die Höhe hervorragender Gegenstände zu bestimmen. Thales soll dadurch die Bewunderung seiner Zeitgenossen erregt haben. Das Verfahren bestand darin [1], daß er zu der Zeit, wenn Schatten und Höhe der Körper gleich sind, was er an einem Stock ermittelte, den Schatten des betreffenden Gegenstandes, z. B. einer Pyramide, maß, womit dann auch sofort die Höhe des Gegenstandes gefunden war.

Mit dem Gnomon, einem Werkzeug, das zur Bestimmung des Mittags aus der Schattenlänge diente, sollen die Griechen durch Anaximander von Milet, den bedeutendsten Schüler des Thales bekannt geworden sein. Anaximander (610—546 v. Chr.) hat nach Strabon auch die erste Karte der Welt, soweit damals die Länderkenntnis reichte, entworfen [2]. Die Beschäftigung mit natur-

[1]) Nach Plutarch, Vol, III, pag. 174, ed. Didot, sowie nach Plinius XXXVI. 12.

[2]) A. Forbiger, Handbuch der alten Geographie. I. 44.

wissenschaftlichen Dingen, zu welcher Thales bei den Joniern allen Nachrichten zufolge den Anstoß gab — nennt ihn doch Aristoteles den „Beginner" der philosophischen Naturforschung[1] — rief nun auch ein Streben nach einer ursächlichen Erklärung der gesamten Erscheinungswelt hervor. Eine auf den letzten Gründen fußende Erklärung ist seitdem das Ziel der Philosophie gewesen, ohne daß sie, wie es in der Natur der Sache liegt, jemals zu einer befriedigenden Lösung eines so weit gespannten Problems gelangt wäre. Was die Frage nach dem Ursprung der griechischen Philosophie anlangt, so neigt ihr hervorragendster Geschichtsschreiber Zeller zu der Ansicht, daß sie selbständig geworden und nicht orientalischer Herkunft sei[2]. „Wenn es je ein Volk gegeben", sagt Zeller, das „seine Wissenschaft selbst zu erzeugen imstande war, so „waren es die Griechen". Dem ersten Ausdruck für ihre Weltanschauung begegnen wir bei ihren Dichtern. Insbesondere war es der im 8. Jahrhundert v. Chr. lebende Hesiod, der in den „Werken und Tagen" die Frage nach der Weltentstehung aufwarf. Für Hesiod war die Weltentstehungslehre wesentlich Götterlehre. Kosmogonie und Theogonie waren in jenem Zeitalter noch zu einer in mystisches Gewand gekleideten Einheit verschmolzen. Thales und seinen unmittelbaren Nachfolgern, die sich über den Begriff des Stoffes kaum zu erheben vermochten, genügte dann die Annahme, daß alle Dinge auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen seien. Als solcher dünkte dem Thales nichts geeigneter als das Wasser, weil es ihm, nach seinen Eigenschaften zu urteilen, zwischen der Erde und der Luft zu stehen schien. Eine Stütze fand diese Lehre in gewissen Beobachtungen. Wurde doch z. B. Ägypten, woher viele Anschauungen des Thales stammten, als ein Erzeugnis des Niles angesehen. Entwickelten sich nicht ferner aus der feuchten Erde die Pflanzen? Selbst als man später genauer beobachten lernte, hat jene Lehre immer wieder Anhänger gefunden. Van Helmont, ein hervorragender Forscher des 17. Jahrhunderts, war noch in ihr befangen. Erst Lavoisier und Scheele, die an der Schwelle der neuesten Zeit stehen, vermochten den Glauben an die Umwandlung des Wassers in Erde, der stets wieder auf mangelhafte Beobachtungen gestützt wurde, durch einwandfreie Versuche endgültig zu widerlegen.

Das Streben nach einer Erklärung der Welt in ihrer Beziehung zum Menschen hat seit der Zeit des Thales nicht auf-

1) Aristoteles, Metaphysica. I. 3

2) Zeller, Die Philosophie der Griechen. Bd. I. (5. Aufl.) S. 35.

gehört, die hervorragendsten Geister zu beschäftigen. Hier ist es nur insofern von Belang, als die Ergebnisse des philosophischen Denkens einen Einfluß auf die weitere Entwicklung der Naturwissenschaften ausgeübt haben. Letztere steckten sich alsbald das bescheidenere, aber erreichbare Ziel, einen Einblick in den gesetzmäßigen Zusammenhang der Erscheinungen zu gewinnen. In dem Maße, wie man dieses Ziel ins Auge faßte, hat sich die Beseitigung phantastischer Auswüchse vollzogen, wie sie in der Alchemie und Astrologie z. B. zum Ausdruck kamen, und in eben demselben Maße näherte sich die Wissenschaft ihrer jetzigen Gestalt.

Die rein philosophische Betrachtungsweise besitzt trotz der Nachteile, die ihr gegenüber der exakten Forschung innewohnen, doch unleugbar das Verdienst, die empirischen Wissenschaften ununterbrochen angeregt zu haben. Manche philosophische Ansicht, welche das griechische Altertum entwickelte, beeinflußte bis in die neuere Zeit hinein die Naturwissenschaften. So hat sich z. B. das Bestreben, die Mannigfaltigkeit der Stoffe auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen, bis auf unsere Tage erhalten. Zuerst wurde von den jonischen Philosophen eine der bekannten Materien, wie die Luft oder das Wasser, zu einem solchen Urstoff gestempelt. Später faßte Aristoteles Luft, Wasser, Erde und Feuer als die verschiedenen Erscheinungsformen eines und desselben Urprinzips auf. Infolgedessen hielt man eine Verwandlung der bekannten Stoffe ineinander für möglich. Und so war es besonders die aristotelische Philosophie, auf die sich im Mittelalter das Bemühen, unedle Metalle in edle überzuführen, stützen konnte.

Die Lehre von den Elementen ist ihrem Ursprung nach auf Empedokles aus Agrigent (um 440 v. Chr.) zurückzuführen. Für ihn waren die Urstoffe ewig, selbständig und nicht auseinander ableitbar. Durch zwei bewegende Kräfte, die Freundschaft und den Streit, den Heraklit den Vater aller Dinge nannte, wurden die Elemente gemischt und zu Dingen gestaltet. Die Entmischung sollte in der Weise erfolgen, daß die Teilchen des einen Stoffes sich unsichtbar von den Teilchen des anderen ablösen. Auf diesem Wege ließ Empedokles auch die Sinnesempfindungen entstehen[1]).

Empedokles wußte sich auch über die Naturdinge im besonderen manche zutreffende oder doch beachtenswerte Meinung zu bilden. So nahm er anstatt des Zentralfeuers der Pythagoreer, um das sie die Erde kreisen ließen, einen feurig-flüssigen Erdkern

[1]) Zeller, Die Philosophie der Griechen. 5. Aufl. Bd. I. S. 769.

an, von dem die heißen Quellen und die Vulkane ihre Wärme erhalten sollten. Das unterirdische Feuer sollte ferner die Gebirge emporgehoben haben. Aus großen, auf Sizilien gefundenen Knochen schloß Empedokles auf die vorgeschichtliche Existenz eines Riesengeschlechts. Seine Ansichten entwickelte er in einem Gedicht „Von der Natur“. Leider sind davon nur wenige Bruchstücke erhalten. Diese lassen indes erkennen, daß Empedokles auch über die Natur der Pflanze nachgedacht hat. Letztere erklärte er für beseelt. Als Zeichen der Beseelung deutete er allerdings Erscheinungen, die man heute mechanisch erklärt, wie das Erzittern, das Ausstrecken der Zweige und das kräftige Zurückschnellen gebogener Zweige. Auch die Behauptung, daß die Pflanzen zweierlei Geschlecht besäßen, wird auf Empedokles zurückgeführt. Selbst die später oft wiederkehrende Lehre von den periodischen Weltumbildungen begegnet uns schon bei diesem Philosophen. Man darf deshalb[1]) aus den vorhandenen Bruchstücken altgriechischer Philosophie schließen, daß eine der wichtigsten Annahmen der neueren Geologie, die Lehre nämlich, daß unser Erdball eine Reihe von Umwandlungen erlitten, bei denen Tiere und Pflanzen untergingen, um sich in anderen Arten wieder zu erneuern, als Ahnung schon im Altertum vorhanden war[2]).

„Der Tatsachen, auf die man sich dabei stützte“, waren vielleicht nicht viele, um so schärfer war aber der Blick, der schon das Richtige traf“[3]).

Hatte man zuerst die Stoffumwandlungen, denen man auf Schritt und Tritt begegnete, als ein Entstehen und Vergehen aufgefaßt, so waren es Philosophen, welche lehrten, daß alle Veränderung auf ein Mischen und Entmischen zurückzuführen sei, und daß dabei der Stoff selbst weder sich bilde noch vernichtet werde. Dem philosophischen Denken entsprang ferner die Vorstellung, daß der Stoff aus kleinsten Teilchen bestehe, durch deren Umlagerung jenes Mischen und Entmischen bedingt sei — beides Grundsätze, deren sich die Forschung bemächtigte, um sie als Leitsterne bei ihren, auf die denkende Erfassung der Natur gerichteten Bemühungen zu verwerten.

Die angedeutete Durchführung der mechanischen Naturerklärung vollzog sich im Anschluß an die Lehren des Empedokles durch

---

1) E. Meyer, Geschichte der Botanik. Bd. I (1854). S. 45.

2) Zeller, Über die griechischen Vorgänger Darwins. Abhandlungen d. kgl. Akademie d. Wissensch. zu Berlin. 1878. S. 115.

3) E. Meyer a. a. O.

die Atomisten genannten Philosophen Leukipp und Demokrit. Ihre Anschauungen lassen sich in folgende Sätze fassen: Das Weltall besteht aus qualitativ gleichen Teilchen, den Atomen, die ihrer Form nach verschieden sind und ihre Lage gegeneinander ändern. Damit letzteres möglich ist, muß der Raum im übrigen leer sein. Die Atome sind ewig und unzerstörbar. Aus Nichts wird nichts. Nichts kann vernichtet werden. Aus der Zahl, der Gestalt, dem Zusammentreffen und der Trennung der Atome geht die Mannigfaltigkeit der Dinge hervor. Die Vorgänge in der Natur hängen nicht von den Launen übernatürlicher Wesen ab, sondern sind ursächlich bedingt. Die Bewegung der Atome ist seit Anbeginn vorhanden, sie hat zur Bildung unzähliger Welten geführt.

Die Schwäche dieser demokritischen Lehre liegt darin, daß nach ihr auch das Seelische aus Atomen, und zwar aus Atomen feinerer Art bestehen soll, welche die gröberen Körperatome durchdringen und auf diese Weise die Erscheinungen des Lebens hervorrufen. So wurden z. B. die Empfindungen des Süßen, Herben, Scharfen daraus erklärt, daß die Atome teils kugelig, teils kantig, teils zackig seien. Die Wahrnehmung, sowie überhaupt jede Wirkung der Dinge aufeinander sind nach Demokrit durch Ausströmung und Einströmung bedingt. Aus diesem Grunde mußten die Körper zwischen den Atomen Poren haben.

Demokrit wurde um 460 v. Chr. in der ionischen Kolonie Abdera geboren. Er sammelte auf vielen Reisen zahlreiche Kenntnisse und galt als der größte Polyhistor vor Aristoteles. Letzterer rühmt von Demokrit, daß er überall die natürlichen Ursachen aufgesucht und vieles früher Vernachlässigte festgestellt habe. Trotz seiner materialistischen Weltanschauung war Demokrit nach den Zeugnissen der Alten eine edle, reichbegabte, für Wahrheit und Wissenschaft begeisterte Natur. Von seinen zahlreichen Schriften sind leider nur geringfügige Bruchstücke erhalten geblieben[1]).

Man mag vom philosophischen Standpunkte aus der atomistischen Welterklärung Wert beilegen oder sie für überwunden halten, man wird immer die vorurteilsfreie und konsequente Denkweise ihrer Schöpfer anerkennen müssen. Besteht doch auch heute die Methode der Forschung darin, Qualität auf Quantität zurückzuführen und in der Meßbarkeit einer Erscheinung ihre Erklärung zu finden. In diesem Sinne sagt Fritz Schultze in seinen Betrachtungen über das Verhältnis der griechischen Naturphilosophie

[1]) Gesammelt durch Mullach, Berlin 1843.

zur modernen Naturwissenschaft[1]): „Wer weiß, daß erst durch diese Methode die großen Triumphe der Naturwissenschaft errungen wurden, wird die Größe des demokritischen Gedankens zu würdigen wissen. Die atomistische Theorie ist zwar ein Gewebe von Hypothesen. Und doch haben wir kein besseres Netz, um die Naturerscheinungen für unser Verständnis einzufangen." — Wir werden sehen, wie die Lehre von der atomistischen Zusammensetzung der Welt im 17. und 18. Jahrhundert durch Gassendi und besonders durch Dalton wieder ins Leben gerufen und die Mechanik der Atome allen Naturerscheinungen zugrunde gelegt wurde.

Eine weitere Tat der alten Philosophie bestand in der Aufstellung und Durchführung des Zweckbegriffs, an Stelle der von den Atomisten behaupteten bewußtlosen Notwendigkeit, durch Anaxagoras. Nach allem, was wir von ihm wissen, war Anaxagoras einer der bedeutendsten Philosophen des Altertums. Er wurde um 500 v. Chr. in Kleinasien geboren und siedelte nach den Perserkriegen nach Athen über, wo er zu Perikles in freundschaftliche Beziehungen trat. Anaxagoras erblickte im Nachdenken über die Natur und das Geschehen seine Aufgabe und verpflanzte diese Art des Philosophierens nach Athen, das in der Folge zum Mittelpunkt des geistigen Lebens der Alten wurde. Seine Schrift über die Natur war zur Zeit des Sokrates sehr verbreitet. Von dieser Schrift sind leider nur Fragmente erhalten geblieben[2]).

Wie Empedokles geht Anaxagoras von der Ansicht aus, daß alles Geschehen ein Gemischtwerden und eine Entmischung sei, wobei sich die Menge des Stoffes im Weltall weder mehre noch mindere. Die hierzu erforderliche bewegende Kraft erblickte er in einer vom Stoff gesonderten, freiwaltenden, selbst unbewegten Intelligenz. Diese nach Zwecken handelnde Intelligenz wird aber von ihm mehr vorausgesetzt als nachgewiesen. Daher werfen ihm Plato und Aristoteles vor, sein *„νοῦς"* [3]) habe ihm zur Erklärung nur als deus ex machina gedient.

Aus dem Urzustande oder dem Chaos hat der *„νοῦς"* nach Anaxagoras als ordnendes, nicht als schaffendes Prinzip das Universum entstehen lassen. Eine Erschaffung aus dem Nichts ist eine orientalische Vorstellung, welche dem griechischen

1) Zeitschrift Kosmos 1877. 8. u. 9. Heft.

2) Schaubach, Anaxagorae fragmenta, Lipsiae 1817. Mullachius, Fragm. phil. graec. Parisiis. I u. II. 1860—1867.

3) D. h. Vernunft, hier Weltvernunft.

Geiste wenig zusagte und uns daher unter den griechischen Philosophen kaum begegnet. Der „νοῦς“ und die Urbestandteile der Dinge sind vielmehr von Anbeginn gegeben. Es ist der philosophische Keim der Lehre von der Erhaltung von Stoff und Kraft, der uns hier begegnet. Der „νοῦς“ versetzte die Masse in eine Art Wirbelbewegung, welche das Gleichartige zusammenführte und das Weltall in seiner jetzigen Verfassung entstehen ließ. Die später von Kant und Laplace entwickelte Nebularhypothese besagt, wie wir sehen werden, im Grunde dasselbe. Nur daß die Neueren diese Vorstellungen von der alten geozentrischen Ansicht loslösten und sie vom Standpunkte der Kopernikanischen Lehre entwickelten. Infolge der Wirbelbewegung trennen sich nach Anaxagoras Äther, Luft, Wasser und Erde voneinander. Vom letzteren Elemente verharren einzelne Massen infolge der Wirbelbewegung im Äther, der ihnen Leuchtkraft verleiht und sie uns als Gestirne erscheinen läßt. Für diese Ansicht sprechen nach Anaxagoras die vom Himmel fallenden Meteoriten, von denen er den 465 v. Chr. in Thrazien gefallenen erwähnt. Er meint dieses Eisenstück, das bei Tageslicht auf die Erde herabgefallen sei [1]) stamme von der Sonne, und mache es wahrscheinlich, daß letztere aus glühendem Eisen bestehe. Auch der Mond sei ein Weltkörper wie unsere Erde und besitze Berge und Täler, eine Vorahnung, deren Richtigkeit erst 2000 Jahre später durch Galilei erwiesen werden konnte. Anaxagoras teilte das Schicksal vieler aufgeklärten Geister. Er wurde im hohen Alter als Gottesleugner ins Gefängnis geworfen und nur auf die Verwendung des Perikles hin wieder in Freiheit gesetzt. Ihm, wie später dem Sokrates und Aristoteles, hat das atheniensische Volk mit Undank gelohnt.

Erwies sich der auf Anaxagoras zurückzuführende Begriff der Zweckmäßigkeit, der in den platonischen Ideen seine Fortbildung fand, während der späteren Entwicklungsstufen der Wissenschaft auch als unzureichend, so war er doch für die Naturforschung des Altertums von Bedeutung und bei dem Aufbau des das Wissen jener Zeit umfassenden, aristotelischen Lehrgebäudes das eigentlich Treibende.

Hinderlich wurde die alte Philosophie der Wissenschaft indessen dadurch, daß sie sich mehr dichterisch schaffend als kritisch forschend verhielt. Man war zu leicht geneigt, das Wort für das Ding und den Begriff für das eigentliche Wesen des Dinges zu

[1]) Es besaß die Größe eines Mühlsteins und wird auch von Plutarch und Plinius erwähnt.

nehmen. „Durch die Wörter“, sagt daher Lange in seiner Geschichte des Materialismus[1]) mit Recht „ließen Sokrates, Plato und Aristoteles sich täuschen. Wo ein Wort war, wurde ein Wesen vorausgesetzt. Gerechtigkeit mußte doch etwas bedeuten. Es mußte also Wesen geben, welche den Ausdrücken entsprechen“.

In gleichem Maße, wie die ersten philosophischen Bestrebungen anregend auf die Forschung gewirkt haben, war dies auch hinsichtlich der Mathematik der Fall. Zur vollen Erkenntnis der Wahrheit, daß nur durch die Vereinigung des mathematischen Verfahrens mit der experimentellen Forschungsweise Aussicht auf eine Lösung der naturwissenschaftlichen Probleme vorhanden ist, sollte jedoch erst die neuere Zeit gelangen. Es ist ein wesentlicher Mangel der Alten, welche die Mathematik wohl zu handhaben wußten, daß sie sich nicht in gleichem Maße für die Ausübung des Experiments befähigt zeigten. Mannigfache Gründe sind hierfür ins Feld geführt worden. Einer der wichtigsten bestand wohl in dem Überschätzen der reinen Geistestätigkeit jeder Beschäftigung mit materiellen Dingen gegenüber. Auch der Umstand, daß die Ausübung gewerblichen Schaffens eines freien Mannes unwürdig galt und in die Hand der Sklaven gelegt wurde, war dem Entstehen der experimentellen Forschungsweise in hohem Grade hinderlich[2]).

Wenn wir die Entwicklung der Mathematik, die hier gleich den Ergebnissen der Philosophie nur soweit in Betracht kommt, wie sie die Naturwissenschaften beeinflußt hat, nach ihren ersten, an ägyptische und babylonische Elemente anknüpfenden Schritten weiter verfolgen, so richtet sich unser Blick von Jonien nach einem anderen Hauptsitz hellenischer Bildung, nämlich nach Großgriechenland. Hatte man den Wert der mathematischen Betrachtungsweise in Jonien überhaupt erst schätzen gelernt, so finden wir dort, bei Pythagoras und seinen Anhängern eine beträchtliche Überschätzung derselben. Wichtig ist vor allem, daß auch im übrigen Griechenland Männer auftraten, die in der denkenden

---

[1]) Lange, Geschichte des Materialismus. Bd. I. S. 57.

[2]) Man darf den hier gerügten Mangel der Alten aber auch nicht übertreiben, wie es z. B. Du Bois Reymond (Kulturgeschichte und Naturwissenschaft) getan hat. Daß das Experiment auch im Altertum eine Rolle spielte, und zumal bei den Alexandrinern zu wichtigen Ergebnissen führte, darf nicht verkannt werden. Im Mittelalter waren insbesondere die Araber bemüht, die ihnen von den Griechen übermittelten Wissenschaften durch experimentelle Untersuchungen weiter auszubauen. Siehe auch E. Wiedemann. Über das Experiment im Altertum und Mittelalter (Unterrichtsblätter für Mathem. und Naturwissensch. 1906. Nr. 4—6).

Betrachtung der Welt ihre Lebensaufgabe erblickten. Als einer der ersten wird uns Pythagoras genannt. Da indes von seinem Leben fast nichts verlautet und auch keine von ihm herrührende Schrift auf uns gekommen ist, so tritt uns in Pythagoras wie in Thales eine sagenumwobene Gestalt entgegen.

Pythagoras wurde um 550 v. Chr. in Samos geboren. Über die Gründung seiner Schule gehen die Nachrichten sehr auseinander. Es läßt sich annehmen, daß er sich vorher gleich Thales in Ägypten, vielleicht auch in Babylon[1]) aufgehalten hat. Auch in diesem Falle würde es sich also um eine Verpflanzung orientalischer Wissenschaft auf den, ihrer weiteren Entwicklung besonders günstigen, Boden Griechenlands gehandelt haben.

Pythagoras und seine Schüler gingen, mehr ahnend als in wirklicher Erkenntnis, von der Voraussetzung aus, daß eine durch Maß und Zahl bestimmte Gesetzmäßigkeit alles natürliche Geschehen beherrsche. In einseitiger Übertreibung dieses Gedankens erblickten sie dann in den Zahlen den ursächlichen Grund der Erscheinungswelt. „Den Pythagoreern," sagt Aristoteles, „ward die Mathematik zur Philosophie." Es handelte sich indessen bei ihnen mehr um bloße Zahlenmystik, als um die Pflege und Förderung exakter Wissenschaft. So bezogen sie die Sechs auf Belebung, die Sieben auf Gesundheit, die Acht auf Freundschaft usw. Diese Zahlenmystik der Pythagoreer ist zum Teil wohl auf akustische Versuche und das Nachdenken über das Wesen der Harmonie zurückzuführen. Man hatte bemerkt, daß der Ton einer Saite von bestimmter Spannung in die Oktave übergeht, wenn man die Länge der Saite auf die Hälfte herabsetzt. Oder, daß gleich gespannte und gleiche dicke Saiten konsonierende Töne geben, wenn sich ihre Längen wie 1 : 2, 2 : 3, 3 : 4, 4 : 5 verhalten. Den Grund dieser Erscheinung suchten die Pythagoreer nun in dem geheimnisvollen Wesen der Zahlen.

Auf die Pythagoreer werden zurückgeführt — wobei sich indes nicht unterscheiden läßt, was selbst gefunden und was an fremden Elementen aufgenommen wurde — die Sätze über die Winkelsumme im Dreieck, über die Kongruenz der Dreiecke, der sogenannte pythagoreische Lehrsatz, sowie die Kenntnis des goldenen Schnitts; ferner die ersten Kenntnisse der Stereometrie, insbesondere der fünf regelmäßigen Polyeder und der Kugel.

Zeugnisse für geometrische Entdeckungen des Pythagoras enthält die Literatur des Altertums an etwa zwölf Stellen. Bei

[1]) Cantor, Geschichte der Mathematik. 1880. Bd. I. 128 u. 158.

der Beurteilung der Zuverlässigkeit dieser Zeugnisse ist indessen zu berücksichtigen, daß die ältesten Angaben 500 Jahre, die Hauptquelle (Proklus) sogar 1000 Jahre nach Pythagoras niedergeschrieben wurden[1]). Proklus, der sich auf die beiden verloren gegangenen Schriften des Eudemus, des ältesten Geschichtschreibers der griechischen Mathematik[2]), stützt, hat Pythagoras nicht für den Entdecker des Begriffes der irrationalen Größen gehalten und ihm weder die Konstruktion der regulären Körper noch die Entdeckung des Pythagoreischen Lehrsatzes zugeschrieben. Auch Zeller, der Geschichtschreiber der griechischen Philosophie, ist schon der althergebrachten Ansicht entgegengetreten, nach welcher Pythagoras selbst als Mathematiker Hervorragendes geleistet haben soll. Das Ergebnis aller neueren Nachforschungen besteht darin, daß sich eine bestimmte Leistung auf dem Gebiete der Mathematik Pythagoras mit Sicherheit überhaupt nicht zuweisen läßt.

Die den Griechen im allgemeinen nachgerühmte Strenge der Beweisführung war bei den Pythagoreern noch wenig entwickelt. Sie verfuhren häufig noch induktiv und wußten das Allgemeine von den Einzelfällen noch nicht recht zu trennen. Immerhin kommt ihnen das Verdienst zu, daß sie die Mathematik von den Bedürfnissen des Lebens gesondert und sie als reine Wissenschaft aufgefaßt haben[3]). Vor allem wurde die Lehre vom Dreieck durch Pythagoras und seine Schule so vollständig entwickelt, daß Euklid, als er die mathematischen Kenntnisse der Griechen in seinen „Elementen“ zusammenstellte, nur wenig hinzuzufügen brauchte. Daß die Winkel des Dreiecks zusammen zwei Rechte betragen, bewiesen die Pythagoreer, indem sie durch eine Ecke eine Parallele zur Gegen-

[1]) H. Vogt, Die Geometrie des Pythagoras. Siehe Bibl. math. (3. Folge) 9. Bd. S. 15 u. f. Danach sind neuerdings auch Zweifel erhoben, ob Pythagoras mit der Konstruktion der fünf regulären Körper schon vertraut gewesen. Auch mit dem Begriff des Irrationalen wurden die Griechen wahrscheinlich erst viel später bekannt.

[2]) Die Griechen haben auch schon über die Entwicklung der Mathematik geschrieben. Eudemos, ein Schüler des Aristoteles, verfaßte eine Geschichte der Astronomie und Geometrie, die bis auf wenige, auch die erwähnten Angaben über Thales enthaltende Bruchstücke verloren gegangen ist. Ferner schrieb Theophrast von Eresos eine Geschichte der Mathematik. Sie ist leider ganz verloren gegangen (Suter, Geschichte der mathematischen Wissenschaften. 1873. S. 21). Die Fragmente des Eudemos wurden von L. Spengel gesammelt und herausgegeben: Eudemi fragmenta, quae supersunt. Berlin 1866.

[3]) Tropfke, Geschichte der Mathematik. II. S. 5.

seite zogen[1]). Auf den nach Pythagoras benannten Satz wurde man wahrscheinlich dadurch geführt, daß man die aus Ägypten oder Babylon zu den Griechen gedrungene Erkenntnis, ein Dreieck sei rechtwinklig, wenn sich seine Seiten wie 3 : 4 : 5 verhalten mit dem arithmetischen Satze, daß $3^2 + 4^2$ gleich 5^2 ist, zu verbinden wußte; wie denn überhaupt die Stärke der Pythagoreer in der Anwendung der Zahlenlehre auf die Geometrie lag. Auch den Satz, daß die drei Winkelhalbierenden eines Dreiecks sich in einem Punkte schneiden, haben die Pythagoreer gekannt und zur Auffindung des dem Dreieck eingeschriebenen Kreises verwertet[2]). Eingehend haben sie sich ferner mit den regelmäßigen Polygonen und mit den fünf regelmäßigen Polyedern beschäftigt. Von letzteren waren der Würfel, das Tetraeder und das Oktaeder schon Gegenstand der orientalischen Mathematik gewesen. Das Ikosaeder und das Dodekaeder dagegen hat erst die pythagoreische Schule konstruiert. Alle fünf Körper aber legten die Pythagoreer ihren mystischen Welterklärungsversuchen zugrunde. Die Welt sollte die Form des Dodekaeders besitzen, die vier übrigen regulären Körper dagegen für die Teilchen der vier Grundstoffe, Feuer, Erde, Luft und Wasser, formbestimmend sein[3]). Zu der Erkenntnis, daß es nur fünf reguläre Polyeder gibt, d. h. Körper, die von gleichen, gleichseitigen und gleichwinkligen Ebenen begrenzt sind, gelangte erst Euklid.

Wie für die Geometrie, so wurde damals auch in der Arithmetik eine Grundlage geschaffen, welche den raschen Aufschwung ermöglichte, den die Mathematik bald darauf in Griechenland erfuhr. Die Pythagoreer schufen die Begriffe der Prim- und der relativen Prim- oder teilerfremden Zahlen. Aus dem Orient übernahmen sie dann die Begriffe Quadrat- und Kubikzahl, mit denen die Babylonier schon im dritten Jahrtausend v. Chr. vertraut waren. Auch die Lehre von den Proportionen wurde von den Pythagoreern gepflegt, da die Proportionen sich für manche Aufgaben, die man heute durch Gleichungen löst, als besonders geeignet erwiesen. Neben der arithmetischen ($a - b = c - d$) und der geometrischen ($a : b = c : d$) erregten auch die durch Gleichsetzung der inneren Glieder sich ergebenden stetigen Proportionen ($a - b = b - c$ und $a : b = b : c$) die Aufmerksamkeit der pythagoreischen Schule.

[1]) Proclus, ed. Friedlein. S. 379.

[2]) Tropfke, II. 88.

[3]) Nach Angaben von Plato (Timäos) und Vitruv (De architectura). Näheres siehe Tropfke. II. 400.

Einige Jahrhunderte unausgesetzter Pflege der mathematischen Wissenschaften, mit denen sich auch die hervorragendsten unter den Philosophen, wie Plato und Aristoteles, beschäftigten, genügte dann, um in den Werken des Apollonios und des Archimedes Leistungen allerersten Ranges heranreifen zu lassen. Besonders in der Hand des letzteren wurde die Mathematik zu einem Werkzeug, mit dem schon die Bewältigung mancher physikalischen Aufgabe gelang.

In der Geschichte der griechischen Mathematik nimmt der um 440 wirkende Hippokrates von Chios eine vermittelnde Stellung zwischen der älteren Schule der Pythagoreer und den Mathematikern des 4. Jahrhunderts v. Chr. ein. Hippokrates begründete eine strengere Beweisführung. Auch soll er das erste mathematische Lehrbuch geschrieben haben. Am bekanntesten ist sein Satz von den Möndchen (Lunulae Hippokratis). Er lautet: Gegeben sei ein dem Halbkreise eingeschriebenes, gleichseitiges, rechtwinkliges Dreieck. Errichtet man dann Halbkreise über den Katheten, so sind a und a, (die Lunulae) den Stücken b und b, flächengleich (Abb. 8).

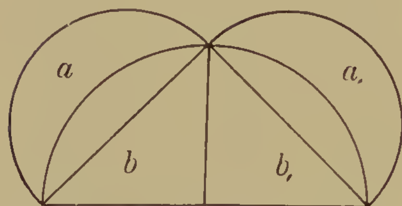


Abb. 8. Der Satz des Hippokrates.

Hippokrates hat ferner bewiesen, daß sich die Kreisflächen wie die Quadrate der zugehörigen Durchmesser verhalten. Auf ihn ist wahrscheinlich auch die Exhaustionsmethode zurückzuführen, die uns im Verfolg der weiteren Entwicklung der griechischen Mathematik noch wiederholt beschäftigen wird.

Der Satz über die Lunulae ist deshalb von besonderem Interesse, weil er der erste gelungene Versuch ist, eine krummlinige Figur zu quadrieren. Hippokrates[1]) glaubte sogar, durch seinen Satz der Quadratur des Kreises einen Schritt näher gekommen zu sein. Seine auf die Lösung dieses Problems hinzielenden Versuche mußten indessen ergebnislos bleiben, da, wie die neuere Mathematik bewiesen hat, die Quadratur des Kreises nicht möglich ist. Des Hippokrates Satz über die Lunulae war eine wichtige Verallgemeinerung des phythagoreischen Lehrsatzes. Letzterer beschränkte sich auf Quadrate. Das Hinzukommen des neuen Satzes ließ schon die Erkenntnis durchschimmern, daß, ganz allgemein,

1) Über Hippokrates siehe Brettschneider, Die Geometrie und die Geometer vor Euklid. Leipzig 1870.

ähnliche Figuren über den Katheten zusammen einer ähnlichen Figur über der Hypotenuse flächengleich sind.

Für die alte Mathematik besaßen drei Probleme eine treibende Kraft, wie wir sie für die Chemie in dem Problem der Metallverwandlung kennen lernen werden. Es waren dies die Quadratur des Kreises, die Verdopplung des Würfels oder das delische Problem und die Dreiteilung eines beliebigen Winkels. Alle drei Aufgaben waren so naheliegend und schienen so einfach zu sein. Und doch haben sie, soweit sie überhaupt lösbar sind, den größten Mathematikern kaum überwindliche Schwierigkeiten bereitet.

Mit den Versuchen, die Quadratur des Kreises zu finden, beginnt die griechische Mathematik im 5. Jahrhundert v. Chr. reine Wissenschaft zu werden. Das Problem beschäftigt schon den Anaxagoras. Es führt bereits um jene Zeit[1]) zum Exhaustionsverfahren, das Archimedes weiter entwickelte und das als Vorstufe zur Integrationsmethode der neueren Mathematik betrachtet werden kann. Da eine vollkommene Lösung der Quadratur nicht gefunden werden konnte, so begnügte man sich bei der Exhaustionsmethode mit einer angenäherten Bestimmung. Man zeichnete in den Kreis zunächst ein Quadrat. Über den Seiten dieser Figur errichtete man die Seiten des dem Kreise eingeschriebenen Achtecks, darüber das eingeschriebene Sechszehneck und so fort, bis das schließlich erhaltene Vieleck von dem Kreise kaum noch abwich. Dieses Vieleck wurde dann nach den bekannten Verfahrungsweisen der Elementarmathematik so oft in ein flächengleiches Vieleck von geringerer Seitenzahl umgeformt, bis man schließlich das dem Kreise annähernd flächengleiche Quadrat gefunden hatte. Ein derartiges konstruktives Verfahren war sehr umständlich und um so fehlerhafter, je größer die Zahl der vorgenommenen Konstruktionen war, da ja jede einzelne von dem wahren Werte mehr oder weniger abwich.

Gleichfalls im 5. Jahrhundert v. Chr. tauchte das delische Problem auf. Seinen Namen soll es daher erhalten haben, daß den Deliern durch ein Orakel befohlen wurde, einem ihrer Altäre den doppelten räumlichen Inhalt zu geben. Das Problem, mit dem sich alle bedeutenden griechischen Mathematiker, unter ihnen auch Hippokrates von Chios und Plato beschäftigt haben, führte zunächst zum Begriff der Kubikwurzel. Ist nämlich die Kante des

---

[1]) Antiphon um 430 v. Chr. Siehe Cantor, Vorlesungen zur Geschichte der Mathematik. I. 172. (1880).

gegebenen Würfels a, diejenige des gesuchten x, so ist $x^3 = 2a^3$ und $x = a\sqrt[3]{2}$. Auf diesen Ausdruck kam schon Hippokrates. Während aber für die Quadratwurzeln geometrische Konstruktionen gefunden werden konnten, versagte dieser Weg zunächst bei der Kubikwurzel [1]). Die Gleichung $x = a\sqrt[3]{2}$ bedeutet, daß die gesuchte Seite des doppelten Würfels die erste (x) von zwei mittleren Proportionalen (x und y) ist, die man in Form einer laufenden Proportion zwischen die einfache (a) und die doppelte Seite (2a) des gegebenen Würfels einschaltet. Ist nämlich

$$a : x = x : y = y : 2a, \text{ so ist}$$
$$(1)\quad a : x = x : y \text{ und}$$
$$(2)\quad x : y = y : 2a.$$

Setzen wir den aus (2) ermittelten Wert für y, nämlich $y = \sqrt{2ax}$ in Gleichung (1) ein, so erhalten wir $a : x = x : \sqrt{2ax}$, daraus folgt:

$$x^2 = a\sqrt{2ax}$$
$$x^4 = a^2 . 2ax$$
$$x^3 = 2a^3$$
$$x = a\sqrt[3]{2}$$

Die Aufgabe war also gelöst, wenn es gelang den Wert x, ausgehend von der laufenden Proportion $a : x = x : y = y : 2a$, zu konstruieren. Geometrisch ist diese Proportion durch beistehende Figur ausgedrückt: ABCD ist ein Rechteck. ACD und CDE sind rechtwinklige Dreiecke. Für die in der Figur mit a, b, x, y, bezeichneten Stücke gelten dann nach einem bekannten Satz über die Proportionalität rechtwinkliger Dreiecke die Verhältnisse $a : x = x : y$ und $x : y = y : b$ [2]).

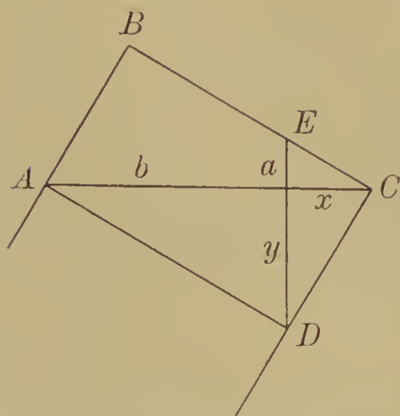


Abb. 9. Konstruktion zur Lösung des delischen Problems.

Spätere Mathematiker, unter denen vor allen Platons Schüler Menächmos (etwa 350 v. Chr.) zu nennen ist, gelangten durch die Beschäftigung

1) Die wichtigsten Mitteilungen über die verschiedenen Wege, wie die Alten das delische Problem lösten, verdanken wir dem Eutokius, welcher die Schriften des Archimedes kommentierte. Archimedes, ed. Heiberg, III., S. 104.

2) Diese Konstruktion, welche Eutokios in seinen Erläuterungen zu Archimedes bringt, wird Plato zugeschrieben. Archimedes, ed. Heiberg, III., S. 66—70.

mit dem delischen Problem über die Geometrie der Geraden und des Kreises hinaus zu den für die Astronomie und die Mechanik so überaus wichtigen, als Parabel, Ellipse und Hyperbel bezeichneten Kurven.

Ausgehend von der schon Hippokrates geläufigen Proportion $a : x = x : y = y : b$, in welcher b für den besonderen Fall der Würfelverdoppelung gleich 2a ist, erkannte Menächmos, daß die aus jener Proportion folgenden Ausdrücke $x^2 = ay$ und $y^2 = bx$ zu einer neuen Kurve führen. Beide Ausdrücke sind nämlich in der Form gleich und enthalten daher auch die gleiche Forderung. Ins Geometrische übersetzt bedeuten sie nämlich, an eine Grade ein Rechteck (ay) so anzutragen (*παραβάλλειν*), daß der Inhalt einem Quadrate (x^2) gleich ist.

Menächmos erkannte, daß der geometrische Ort für die Schnittpunkte aller, dieser Bedingung genügenden Rechtecke eine vom Kreise abweichende krumme Linie bildet, die später wegen des Antragens (*παραβολή*) des Rechteckes an die Grade den Namen Parabel erhielt. Er zeigte weiter, daß sich der für die Würfelverdoppelung gesuchte Wert x als Schnittpunkt einer Parabel mit einer Hyperbel oder als Schnittpunkt zweier Parabeln ermitteln läßt. Doch würde ein weiteres Eingehen auf diese Konstruktionen hier zu weit führen. Jedenfalls steht fest, daß Menächmos mit einer punktweisen Konstruktion beider Kurven und mit ihren Grundeigenschaften, ja sogar mit den Asymptoten der Hyperbel bekannt war[1]). Die Beziehung der von ihm untersuchten Kurven zur Kegeloberfläche hat Menächmos wahrscheinlich noch nicht gekannt, jedenfalls gelangte er zu diesen Kurven, indem er sich bemühte, für einen arithmetischen Ausdruck den zugehörigen geometrischen Ort zu bestimmen[2]).

Auch die Aufgabe, einen Winkel in drei gleiche Winkel zu zerlegen, führte, wie das delische Problem, auf kubische Gleichungen und höhere Kurven. So gelang es um 400 v. Chr.[3]) die Dreiteilung des Winkels mit Hilfe der Quadratrix genannten Kurve auszuführen[4]).

[1]) Näheres bringt die von Cantor (Bd. I. S. 199) nach Eutokios gegebene Darstellung der von Menächmos gefundenen Sätze.

[2]) Ging man ähnlich wie bei der Ableitung der Parabel vor, stellte aber die Bedingung, daß von den an die Gerade anzutragenden Rechtecken stets ein Stück übrig bleibt, so ergab sich als geometrischer Ort die Ellipse (*ἐλλείπειν* heißt übrig bleiben). Überragten dagegen die Rechtecke die Gerade, so ergab sich die Hyperbel (*ὑπερβάλλειν* heißt überragen).

[3]) Hippias von Elis.

[4]) Näheres Cantor, I. 167.

Die Beschäftigung mit dem delischen Problem und den Kegelschnitten führte im Verlauf der ersten Hälfte des 4. Jahrhunderts v. Chr. auch zu einem tieferen Eindringen in die Wahrheiten der Stereometrie. Vor allem sehen wir Platon und seine Schüler auf diesem Gebiete tätig. Auf den unbefriedigenden Zustand dieser Wissenschaft wies er mit folgenden Worten hin: „Hinsichtlich der Messungen von allem, was Länge, Breite und Höhe hat, legen die Griechen eine in allen Menschen von Natur vorhandene, aber ebenso lächerliche wie schmähliche Unwissenheit an den Tag". Platon gebührt aber auch das allgemeinere Verdienst, die mathematische Methode dadurch verbessert zu haben, daß er jeden Satz auf Vordersätze zurückführte, bis er endlich zu Axiomen und Definitionen als den, weitere Voraussetzungen entbehrenden Grundlagen der Mathematik gelangte. Auch die Erfindung des indirekten Beweisverfahrens wird Platon zugeschrieben[1].

Unter den stereometrischen Sätzen, welche die platonische Schule auffand, verdienen besonders zwei hervorgehoben zu werden. Es ist das der Satz von der Raumgleichheit der Pyramide mit dem dritten Teile des Prismas von gleicher Grundfläche und gleicher Höhe. Ferner erkannte man, daß Kugeln sich in bezug auf den Rauminhalt wie die dritten Potenzen ihrer Durchmesser verhalten[2]. Um jene Zeit scheint auch die Entdeckung stattgefunden zu haben, daß Ellipse, Parabel und Hyperbel wie der Kreis als Kurven auf der Kegeloberfläche (Kegelschnitte) entstehen, wenn man Ebenen in verschiedener Neigung zur Kegelachse durch den Kegel legt[3].

Nicht so erfolgreich wie auf den Gebieten der Philosophie und der Mathematik sind die Griechen während dieser Periode in der Astronomie gewesen. Große Schwierigkeiten bereitete ihnen die Ordnung ihrer Zeitrechnung, der sie anfangs die Bewegung des Mondes zugrunde legten. Man sah dieses Gestirn in rascher Folge einen Wechsel von Lichtgestalten durchlaufen und gelangte dadurch zur Aufstellung des synodischen Monats, dessen Dauer 29 Tage 12 Stunden und 44 Minuten beträgt. Es ist nun sehr wahrscheinlich, daß der erste Versuch, die Rechnung nach Mond und Sonne zu regeln, zur Festsetzung eines Zeitraums von 12 Monaten

---

1) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. II. S. 5.

2) Beide Sätze werden Platons Schüler Eudoxos von Knidos zugeschrieben.

3) Die Entdeckung wird auf Aristaeos (um 320 v. Chr.), der ebenfalls der platonischen Schule angehörte, zurückgeführt. Aristaeos soll auch das erste Werk über die Kegelschnitte geschrieben haben. Cantor I. 211.

zu 30 Tagen führte. Ein solcher Kalender konnte den Bedürfnissen, jedoch nicht lange genügen, da er dem tatsächlichen Verlauf der himmlischen Bewegungen zu wenig entsprach. Der nächste Schritt bestand deshalb darin, daß man den Monat abwechselnd zu 29 und 30 Tagen rechnete. Dadurch wurde das Jahr aber auf 354 Tage verkürzt. Mit diesem Zeitabschnitt rechneten die Griechen, bis Solon den bedeutenden Ausfall, den man erlitten, dadurch ausglich, daß er jedem zweiten Jahre einen vollen Monat von 30 Tagen zulegte. Auf das Jahr kamen also im Mittel $\frac{2 . 354 + 30}{2} = 369$ Tage, was noch immer eine starke Abweichung von der wirklichen Dauer bedeutete. Die Verwirrung, in welche der Kalender der Griechen schließlich geraten war, hat ihr großer Lustspieldichter Aristophanes[1]) dadurch verspottet, daß er den Mond über einen solch unhaltbaren Zustand sich beklagen läßt. Dem atheniensischen Mathematiker Meton gelang endlich 433 v. Chr. die Beseitigung dieses Wirrsals. Er führte einen Zyklus ein, der 19 Jahre und innerhalb dieses Zeitraums 125 volle und 110 leere Monate umfaßte, so daß das Jahr $\frac{125 . 30 + 110 . 29}{19} =$ 365,263 Tage enthielt, während der wahre Wert des Sonnenjahres sich auf 365,242 Tage beläuft[2]).

Zu einer annähernden Bestimmung des Sonnenjahres mußte man gelangen, sobald man zur genaueren Messung der Schattenlänge mit Hilfe des Gnomons überging. Man erkannte, daß die Mittagshöhen und damit die Tageslängen und Jahreszeiten innerhalb einer Periode von 365¼ Tagen wiederkehren. Zu dieser Erkenntnis kam die Beobachtung, daß innerhalb derselben Periode gewisse Fixsterne nacheinander in der Nähe der auf- oder untergehenden Sonne gesehen werden. Daraus schloß man, daß die stete Änderung in der Kulmination der Sonne daher rühre, daß dieses Gestirn im Laufe eines Jahres einen zum Himmelsäquator geneigten Kreis beschreibt. Um die Neigung dieses, als Ekliptik bezeichneten Kreises zu bestimmen, war es erforderlich, die größte und die geringste Mittagshöhe an einem Orte zu messen und das Mittel aus der Differenz dieser Höhen zu nehmen. Der erste Grieche, der die Schiefe der Ekliptik auf diesem Wege bestimmte,

1) Aristophanes, Wolken. 615—619.

2) Es ist wahrscheinlich, daß Meton sich hierzu der Tabellen bediente, welche die Chaldäer Jahrhunderte vorher für die Mondbewegung und die Finsternisse entworfen hatten.

soll Anaximander gewesen sein[1]). Indes begegnen wir weit früheren Angaben. So fanden chinesische Astronomen schon um 1100 v. Chr. für die Schiefe der Ekliptik ziemlich richtig den Wert von 23° 52′.

Hinsichtlich der Beschaffenheit des Mondes gelangte man schon frühzeitig zu der Vorstellung, daß es sich um eine freischwebende, von der Sonne beleuchtete Kugel handele. Seine Flecken wurden von einigen als Unebenheiten, von anderen (wie Aristoteles) als Spiegelbilder unserer Erdteile und Meere aufgefaßt. Schon Anaxagoras hat sich die Frage vorgelegt, weshalb ein, der Erde so naher und vermutlich um vieles kleinerer Himmelskörper nicht zur Erde herunterfalle. Er trifft auch so ziemlich das Richtige, wenn er die Mondbewegung mit einer Bewegung vermittelst der Schleuder vergleicht, durch deren raschen Umschwung die Neigung zu fallen gleichfalls aufgehoben werde.

Während die Entdeckung der größeren Planeten aus der Veränderung ihrer Stellung zu den Fixsternen auf den ersten Blick erfolgen mußte, setzte die Auffindung des Merkur, der sich im Mittel nur um 23 Grade von der Sonne entfernt und daher in höheren Breiten nur in der Dämmerung mit guten Augen wahrzunehmen ist, schon eine größere Aufmerksamkeit voraus. Auch der Saturn wird wegen seines langsamen Fortrückens erst verhältnismäßig spät als Wandelstern erkannt worden sein. Eine systematisch geordnete Reihe von Beobachtungen gehörte dazu, die Zeiten festzustellen, innerhalb deren die Planeten in ihre frühere Stellung zurückkehren. So gelangte man zu der Erkenntnis, daß Jupiter in 12, Saturn dagegen erst in 30 Jahren ihren Weg am Fixsternhimmel vollenden.

Größere Schwierigkeiten boten der Mars und die innerhalb der Erdbahn befindlichen Planeten Merkur und Venus dar. Da letztere beiden jedoch stets in der Nähe der Sonne erscheinen, so mußten sie der geozentrischen Vorstellung gemäß etwa dieselbe Umlaufszeit besitzen. Als Grund dieser sämtlichen Unterschiede nahm man einen verschieden großen Abstand der Himmelskörper von der im Mittelpunkte ruhend gedachten Erde an. Saturn, dessen Umlauf die längste Zeit erfordert, mußte dementsprechend auch am weitesten von der Erde entfernt sein, während der Mond, der zwölfmal in einem Jahre seinen Umlauf vollendet, als der dem

1) Um 560 v. Chr. Siehe auch Darmstädter, Handbuch der Geschichte der Naturwissenschaften.

Mittelpunkte am nächsten befindliche Himmelskörper galt. Man gelangte daher zu dieser Reihenfolge: Mond, Sonne, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn.

Die Pythagoreer legten sich zuerst die Frage nach dem Verhältnis jener Abstände vor. Sie bewegten sich hierbei jedoch auf dem Gebiet der bloßen Zahlenmystik. Da sie bei ihren akustischen Untersuchungen auf einfache Beziehungen zwischen den Längen harmonisch tönender Saiten gestoßen waren, hielten sie sich für berechtigt, auch am Himmel solche einfachen Verhältnisse ohne weiteres anzunehmen. Durch ihr Obwalten sollte dann, ähnlich wie im Reiche der Töne, eine Konsonanz entstehen. Man dachte sich nämlich, jeder Planet rufe als ein in rascher Bewegung befindlicher Körper einen Ton hervor. So nahm später Plato an, daß sich Mond, Sonne, Venus, Merkur, Mars, Jupiter, Saturn in Abständen von der Erde befänden, die sich wie 1:2:3:4:8:9:27 verhielten. Dies verursache die Harmonie der Sphären. Über die Entfernung der Fixsterne, welche der äußersten der acht konzentrischen Sphären angehören sollten, läßt Plato nichts verlauten.

Derartige Spekulationen, so überflüssig sie auch nach der Entdeckung der tatsächlich obwaltenden Verhältnisse erscheinen mögen, sind für die Entwicklung der astronomischen Wissenschaft durchaus nicht ohne Belang gewesen. Sie waren es, die zu Versuchen anregten, die Richtigkeit der angenommenen Werte zu prüfen. Und wir werden sehen, auf welche Weise man in der nächstfolgenden, schon der Messung zugewandten Periode der griechischen Astronomie der Lösung dieser Aufgabe näher kam. Zu allen Zeiten hat der Weg der Forschung darin bestanden, daß auf einer gewissen Stufe der Erkenntnis Hypothesen ersonnen wurden, an welche sich die weiteren Versuche behufs einer Prüfung anschlossen. Auch als später Kepler das Problem, welches wir jetzt verlassen, wieder aufnahm, trat er mit der vorgefaßten Meinung an dasselbe heran, die Planeten müßten, wie so manches in der Natur, nach einfachen Verhältnissen geordnet sein. So ist das von den Pythagoreern aufgeworfene Problem bis in die neueste Zeit eine der fundamentalen Aufgaben geblieben, welche die Astronomie mit immer größerer Genauigkeit zu bewältigen strebt. Hatten die Chaldäer und die Ägypter die Himmelserscheinungen in Jahrhunderte umfassenden Beobachtungsreihen nur aufgezeichnet und dadurch das wertvollste, den Griechen zu Gebote stehende Material für eine weitere Entwicklung der Astronomie geschaffen, so ging das jüngere, der Ergründung der Ursachen mit regem

Geiste zustrebende Volk zuerst zu einer Erklärung dieser Erscheinungen über. Einen besonderen Anreiz bot diese Aufgabe den Schülern Platons, der in seinem Timäos die Frage nach der Entstehung und der Anordnung des Weltgebäudes aufgeworfen hatte. Mehr aus philosophischen als aus deutlich erkannten astronomischen Gründen war man gleich den Pythagoreern geneigt, der Erde keine das All beherrschende, zentrale Stellung zuzuschreiben. Dieser Gedanke wurde von Platons Schüler Herakleides Pontikos weiter verfolgt und zu einer heliozentrischen Theorie erweitert, welche besonders durch Aristarch von Samos im dritten Jahrhundert v. Chr. ausgebildet wurde.

Über die Anfänge der heliozentrischen Weltanschauung, die bis in die Schule des Pythagoras und Platons zurückreichen, haben insbesondere die Forschungen Boeckhs[1]) und Schiaparellis[2]) Licht verbreitet. Es ist früher wohl behauptet worden, daß Pythagoras selbst schon die Bewegung der Erde gelehrt habe. Für die Ansicht, daß Pythagoras eine andere als die im frühen griechischen Altertum herrschende geozentrische Ansicht gelehrt habe, spricht jedoch nichts. Dagegen müssen wir annehmen, daß die Lehre von der Kugelgestalt der Erde in der pythagoreischen Schule schon galt, als sie in Griechenland noch unbekannt war[3]). Früher als die Erde stellte man sich den Himmel als eine Kugel vor, an deren Oberfläche die Sterne angeheftet seien. Als man jedoch bemerkte, daß der Mond, die Sonne und die Planeten an den Sternbildern vorüberziehen und die Planeten mitunter für kurze Zeit von dem Monde verdeckt werden, da konnte man sich der Erkenntnis nicht verschließen, daß die Entfernungen der Himmelskörper von der Erde verschieden seien. Den Versuch, die Bewegung und die gegenseitige Stellung der Himmelskörper in ihrem Verhältnis zur Erde zu erklären, machten unter den Griechen zuerst die Pythagoreer. Unter ihnen war es der im 5. Jahrhundert lebende Philolaos, dem wir die ersten schriftlichen Aufzeichnungen über diese, für die weitere Entwicklung der Weltanschauung grundlegenden Lehren verdanken. Man hat es hier keineswegs mit bloßen Phantasieerzeugnissen zu tun.

---

1) August Boeckh, Philolaos des Pythagoreers Lehren nebst den Bruchstücken seines Werkes. Berlin, Vossische Buchhandlung. 1819.

2) Schiaparelli, Die Vorläufer des Kopernikus im Altertum. Übersetzt von Curtze.

3) Dies gilt z. B. von Anaxagoras, der nach der Begründung der pythagoreischen Schule lebte.

Mit Recht sagt daher Schiaparelli: „Das System des Philolaos ist nicht die Frucht einer ungeordneten Einbildung, sondern es ist aus der Tendenz entstanden, die Daten der Beobachtung mit einem prästabilierten Prinzip über die Natur der Dinge in Übereinstimmung zu bringen“[1]: Dieses Prinzip war die in der phythagoreischen Schule entstandene Lehre von der Harmonie, die überall, also auch im Kosmos, herrschen sollte.

Bei der Wichtigkeit der durch Philolaos übermittelten Lehren für das Verständnis der von Platon, von Herakleides und Aristarch entwickelten Ansichten wollen wir an der Hand der von Boeckh herausgegebenen Bruchstücke uns ein Bild von diesen frühesten kosmologischen Vorstellungen zu machen suchen; letztere führten in ihrer weiteren Entwicklung schon im Altertum zu einer heliozentrischen Weltansicht.

Nach Philolaos gibt es nur eine Welt, den Kosmos; und dieser besitzt die Gestalt einer Kugel[2]. In der Mitte des Alls befindet sich das Zentralfeuer. Die Peripherie wird von dem unbegrenzten Olymp gebildet, der seiner Natur nach ebenfalls Feuer ist, wenn wir dieses völlig farblose Feuer auch nicht wahrnehmen können. Nur durch die Sonne, die an sich ein dunkler, glasartiger Körper ist, wird das Feuer des Olymps so modifiziert, daß wir es wahrnehmen. Vielleicht ist man durch die Milchstraße zu der Annahme eines alles umschließenden feurigen Olymps geführt worden. Zwischen dem letzteren und dem Zentralfeuer bewegen sich zehn göttliche Körper, nämlich die Fixsternsphäre, die fünf Planeten, dann die Sonne, darunter der Mond, wie man aus den Verfinsterungen der Sonne schließen mußte, dann die Erde und endlich, dem Zentralfeuer zunächst, die Gegenerde. Während Platon im Timäos die Erde als den Mittelpunkt bezeichnet, wird also bei Philolaos — und zwar zuerst — der Erde eine Bewegung zugeschrieben. Erde und Gegenerde bewegen sich in 24 Stunden um das Zentralfeuer. Daraus erklärt sich die tägliche Umdrehung des Fixsternhimmels. Die Gegenerde ist im Grunde genommen die den Bewohnern des Mittelmeeres entgegengesetzte Hemisphäre. Denken wir uns diese Hemisphäre von der den Griechen bekannten losgelöst und das Zentralfeuer, das man später in den Mittelpunkt der Erde versetzte, gleichfalls in den Weltraum hinausverlegt, so

[1] Schiaparelli, a. a. O. S. 7.

[2] Platon erklärte im „Timäos“, von dem Ganzen, welches kugelförmig ist, zu behaupten, daß es einen Ort unten, den anderen oben habe, ziemt keinem Verständigen (siehe „Timäos“, 62 u. 63).

erkennen wir, daß Philolaos mit seiner Erde und Gegenerde und ihrer gleichlaufenden täglichen Bewegung um das Zentralfeuer die scheinbare tägliche Bewegung des Fixsternhimmels erklärt hat.

Bei einer solchen Bewegung bekommen wir die Gegenerde natürlich nie zu sehen, ebensowenig wie wir die der unseren entgegengesetzte Hemisphäre von unserem Standort aus erblicken können. Indem sich die Gegenerde innerhalb der Erdbahn um das Zentralfeuer bewegt, und zwar so, daß sich die Gegenerde stets zwischen der Erde und dem Zentralfeuer befindet, bekommen wir die weit außerhalb des Systems „Zentralfeuer, Gegenerde, Erde" befindliche Sonne während dieser parallelen und konzentrisch erfolgenden Bewegung der Erde und der Gegenerde so lange nicht zu sehen, als wir uns auf der von der Sonne abgekehrten Seite befinden. Wir sind dann im Schatten der Gegenerde, die uns das Sonnenlicht während der Hälfte des Tages gerade so verbirgt, wie es in Wirklichkeit die aus der Vereinigung von Erde und Gegenerde hervorgehende Erdkugel tut.

Derjenige, der an Stelle der täglichen Bewegung um ein Zentralfeuer die tägliche Rotation unseres Planeten um seine Achse setzte und damit die Annahme der Gegenerde und jenes Zentrums überflüssig machte, war Herakleides Pontikos, ein Schüler Platons. Herakleides ging aber noch einen Schritt weiter, indem er die Sonne schon als Mittelpunkt für die Bewegungen der beiden inneren Planeten, Merkur und Venus, ansprach. Diese Vorstellung hat später bekanntlich Tycho auf alle Planeten mit alleiniger Ausnahme der Erde ausgedehnt[1]).

Die Annahme, daß Merkur und Venus sich um die Sonne bewegen, entsprang der Beobachtung, daß beide Planeten sich nur wenig von der Sonne entfernen, nämlich Merkur im Mittel 23°, Venus höchstens 48°. Daher sagt auch Vitruv: „Merkur und Venus haben, da sie sich um die Sonne als Mittelpunkt ihres Laufes bewegen, ihre Stillstände und Rückläufe in die Sonnenstrahlen eingetaucht"[2]). Auch Plato beschäftigt sich mit diesem Problem im Timäos. Nach ihm setzte Gott den Mond in den ersten Kreis um die Erde, die Sonne dagegen in den zweiten Kreis. Von Merkur und Venus heißt es dort[3]) sie seien in die Kreise ge-

1) Siehe die spätere Darstellung und Abbildung des Tychonischen Systems.

2) Vitruv, De architectura, 9. Buch. Von den meisten Schriftstellern wird der Ursprung dieser Lehre den Ägyptern zugeschrieben. Kopernikus selbst kannte sie durch Martianus Capella (siehe an späterer Stelle bei Kopernikus).

3) Platons Timaeos. 38.

setzt worden, „welche an Schnelligkeit sich zwar mit dem Kreislauf der Sonne gleich bewegen, jedoch eine diesem entgegengesetzte Wirksamkeit erlangt haben. Deswegen holen die Sonne, Merkur und Venus auf gleiche Weise einander ein und werden voneinander eingeholt." Mit solchen dunklen Andeutungen war das Problem der Stillstände und Rückläufe indessen nicht gelöst. Eine Theorie, die sich diesen Erscheinungen schon besser anpaßte, gab Eudoxos durch die Annahme von „homozentrischen Sphären". Vermittelst dieser Theorie gelang es, die Bewegungen des Jupiter und des Saturn vom geozentrischen Standpunkte aus begreiflich zu machen.

Da die Hypothese des Herakleides Pontikos eine Erklärung für das Verhalten von Merkur und Venus gab, während die Theorie der homozentrischen Sphären hier versagte, lag es nahe, zu untersuchen, ob die Hypothese Heraklids sich nicht auf die äußeren Planeten ausdehnen ließe. So gelangte man zu dem System, das später Tycho annahm. Mond und Sonne bewegen sich danach um die Erde, während die sämtlichen Planeten gleichzeitig die Sonne umkreisen.

Gleichzeitig mit den ersten Beobachtungen und Spekulationen über die Himmelskörper beginnt die Frage nach der Beschaffenheit unseres irdischen Wohnsitzes den forschenden Geist zu beschäftigen. Lange dauerte es, bis man sich von dem Eindruck, daß die Erde eine kreisförmige Scheibe sei, losgerungen hatte. Homer und Hesiod waren noch darin befangen. Letzterer läßt die Sonne während der Nacht im Ozean nach Osten schwimmen, wo sie sich frühmorgens wieder erhebt. Der Himmel selbst ist nach ihm ein Gewölbe von solcher Höhe, daß ein schwerer Gegenstand von dort neun Tage und neun Nächte fällt, bis er die Erde erreicht.

Die Überzeugung, daß die um das Mittelmeer gelegenen Länder nur einen kleinen Teil der Erde ausmachen, hatte schon vor Aristoteles Platz gegriffen. So sagt Platon im Phaedon[1]): „Die Erde ist groß. Wir haben davon nur einen kleinen Teil um das Mittelmeer herum inne, während andere Menschen viele andere ähnliche Räume bewohnen". In derselben Schrift heißt es, die Erde schwebe in der reinen Himmelsluft oder dem Äther und sei, von ferne betrachtet, einem Balle ähnlich.

Während die Mathematik, die Philosophie und die Astronomie bei den Griechen der voraristotelischen Zeit schon deutlich als besondere Wissenszweige hervortreten, ist dies bezüglich der Botanik

[1]) Platons Phaedon. cap. 58. Leipzig, Wilhelm Engelmann. 1852.

und der Zoologie noch kaum der Fall. Den Pflanzen wandte man sich aus medizinischem und landwirtschaftlichem Interesse zu. So erzählt uns Theophrast, den wir als einen der frühesten botanischen Schriftsteller kennen lernen werden, von den Rhizotomen (Wurzelgräbern) und den Pharmakopolen (Arzneihändlern) der ersten griechischen Zeit. War das Ziel dieser Männer auch ein überwiegend praktisches und ihr Tun mit vielen abergläubischen Gebräuchen gemischt, so schufen sie doch die erste Quelle des Wissens, nämlich die empirische Grundlage, zu der dann später die Spekulation als zweites nicht weniger wichtiges Element hinzutreten mußte, um mit der Empirie vereint zu wahrer Wissenschaft heranzuwachsen[1]).

Theophrast sagt von den Rhizotomen, sie hätten vieles richtig bemerkt, vieles aber auch marktschreierisch übertrieben. Daß sie beim Ausgraben der Wurzeln auf den Flug der Vögel und den Stand der Sonne achteten, erschien dem Theophrast als Torheit.

Die Pflanzenkenntnis der Griechen und die Zahl der den Hirten, Jägern, Landleuten und den erwähnten Rhizotomen bekannten Pflanzen waren bei einer so vielseitigen, mehrere tausend Blütenpflanzen umfassenden Flora, wie sie Griechenland beherbergt, gewiß nicht unbedeutend. Einen Rückschluß gestattet uns der Sprachschatz jenes Zeitalters. In den homerischen Gesängen z. B. werden 63 Pflanzen erwähnt. In den hippokratischen Schriften finden sich 236 Pflanzennamen, und bei Theophrast, dem Zeitgenossen des Aristoteles, begegnen uns gar 455, unter denen nur wenige sind, die nicht der Flora Griechenlands angehören. Die ältesten fragmentarischen Aufzeichnungen über botanische Dinge treffen wir bei dem Philosophen Empedokles, dem Begründer der Lehre von den vier Elementen oder, wie er sich ausdrückte, den Wurzeln der Dinge[2]). Vom wissenschaftlichen Standpunkte aus sind die Ansichten, welche Empedokles über die Natur der Pflanze äußert, nicht allzu hoch einzuschätzen. Zuerst, meint er, unter allen lebenden Wesen seien die Bäume aus der Erde hervorgegangen. Seiner Lehre von der Allbeseelung der Natur entspricht die Meinung, daß die Pflanzen wie die Tiere Gefühle der Lust und Unlust, ja Einsicht und Verstand besäßen.

---

1) Meyer, Geschichte der Botanik. I. 5.

2) Ausg. v. Sturz, Vers 160—163. Seine Worte lauten: Jetzt zuförderst vernimm des Alls vierfältige Wurzeln: Feuer und Wasser und Erd' und des Äthers unendliche Höhe. Daraus ward, was da war, was da sein wird, oder was nun ist.

„Wisse denn, alles erhielt Anteil an Sinn und Verständnis“ ist ein Wort, das man dem Philosophen zuschreibt[1]).

Aus der Beseelung der Pflanzen erklärte Empedokles Erscheinungen, die wir auf mechanische Ursachen zurückführen, wie das Erzittern, das Ausstrecken der Zweige gegen das Licht und das Emporschnellen herabgebogener Zweige[2]). Auch die ersten Keime der Lehre von den Geschlechtern der Pflanzen begegnet uns bei Empedokles, wenn es sich bei ihm auch nur um eine dunkle Ahnung handelte. So berichtet Aristoteles, Empedokles habe gemeint, auch die Bäume brächten Eier hervor. Und wie in dem Ei aus einem Teile das Tier entstände, das Übrige aber Nahrung sei, so entstehe auch aus einem Teile des Samens die Pflanze, das Übrige aber diene dem Keim und der ersten Wurzel als Nahrung[3])

Auch anderen griechischen Philosophen werden Äußerungen über die Natur der Pflanzen zugeschrieben. Sie verdienen zum Teil Erwähnung, wenn wir uns von den Vorstellungen jener Männer auch kein solch abgerundetes Bild machen können, wie von denjenigen des Empedokles. So soll auch Demokrit aus Abdera über die Pflanzen geschrieben, und einer seiner Schüler soll bemerkt haben, daß die Blätter einer im Orient wachsenden Pflanze bei der Berührung zusammenfallen. Wahrscheinlich handelt es sich um eine dort wachsende Mimosenart. Anagoras nennt die Sonne den Vater und die Erde die Mutter der Pflanzen. Auch soll er den Blättern das Vermögen zu atmen beigelegt haben.

In fast noch engerer Beziehung als zu den Pflanzen befand sich der Mensch zur Tierwelt. Hier fesselten ihn nicht nur die Form, sondern auch die den seinen oft so nahe verwandten Lebensäußerungen und der innere Bau, der bei den höheren Tieren so große Übereinstimmung mit dem Bau des menschlichen Körpers darbot. Vor allem waren es die Haustiere, an denen die ersten zoologischen Kenntnisse gewonnen wurden. Beim Schlachten und Opfern gewann man einen Einblick in die Anatomie dieser Geschöpfe. An Haustieren besaßen die Griechen vornehmlich das Rind, das Pferd, das Schaf, die Ziege, das Schwein und den Hund, auch wurden Hühner, Gänse, Enten und Tauben gehalten. Was die übrige Tierwelt anbetrifft, so blieben den Griechen die anthropomorphen Affen unbekannt. Dagegen kannten sie manche andere

[1]) Meyer, Geschichte der Botanik. I. 51

[2]) Plut. V. cap. 26.

[3]) Aristoteles. De gen. animalium. I. 23

Affenart, wie die Paviane und die Makaken. Mit den großen Raubtieren wurde man besonders bekannt, als die Römer ihre Weltherrschaft gegründet hatten. So gelangten durch Pompejus die ersten Tiger und schon um 200 v. Chr. die ersten Löwen nach Rom. Von den Waltieren war besonders der Delphin bekannt. Die Papageien erwähnt Aristoteles als indische Vögel. Außer zahlreichen Arten der Knochenfische kannte man auch die Haifische und die Rochen, zumal den elektrischen Rochen, ziemlich genau. Von den Weichtieren hatten besonders die Tintenfische die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Die Kenntnis von den niederen Tieren blieb, vielleicht von den Insekten abgesehen, indessen auf einer niedrigen Stufe.

Einer der ersten, der allgemeine Betrachtungen über das Wesen der Tierwelt anstellte, war Empedokles, mit dessen Ansichten über die Pflanzen wir uns soeben beschäftigt haben. Empedokles suchte nämlich, bei der näheren Ausführung seiner Lehre von den vier Elementen, Bestandteile des Tierkörpers, wie das Fleisch, das Blut und die Knochen, auf eine Mischung jener vier Elemente zurückzuführen. Vom Rückgrat der Säugetiere meinte er, es sei bei der Entstehung in einzelne Wirbel zerbrochen[1]. Unter den späteren Philosophen soll besonders Demokrit Tierzergliederungen vorgenommen haben. Seine Ansichten finden bei Aristoteles oft Erwähnung und zeugen mitunter von einer klaren Einsicht.

Bei den spekulativen Neigungen der Griechen kann es nicht Wunder nehmen, daß uns schon bei den ältesten griechischen Philosophen Anklänge an die Deszendenztheorie begegnen[2]. So lehrte Anaximander, durch die Sonnenwärme seien im Schlamme zuerst blasige Gebilde entstanden. Daraus seien dann fischartige Geschöpfe hervorgegangen. Einige von ihnen seien auf das Land gekrochen. Die so bedingte Änderung der Lebensweise habe auch zu einer Umwandlung der Gestalt geführt. Auf diese Weise sollten zunächst die landbewohnenden Tiere und endlich der Mensch entstanden sein. Auch Epikur betrachtete alle Geschöpfe einschließlich des Menschen als Kinder der Erde, die nur stufenweise Verschiedenheiten aufweisen.

Bei dem Römer Lukretius, der in seinem Werke „De natura rerum" im wesentlichen die Ansichten der griechischen Naturphilosophen wiedergibt, finden sich gleichfalls Anklänge an die Selek-

1) Aristoteles, De part. anim. I. s. 640a.

2) E. Dacqué, Der Deszendenzgedanke und seine Geschichte. München 1903.

tionstheorie, unter anderm auch der Gedanke, daß das Unzweckmäßige untergehe[1]. Derartige, gelegentlich geäußerte, später als zutreffend anerkannte Gedanken haben indessen mit der wissenschaftlichen Begründung der Deszendenztheorie nur wenig gemein. Letztere ist und bleibt eine Tat des 19. Jahrhunderts, für die in erster Linie Lamarck und Darwin in Betracht kommen.

Zu den frühesten Ursachen, welche zur Begründung der Naturwissenschaften führten, gehört auch das Bestreben, die Krankheiten des menschlichen Körpers zu heilen. Dieses Bestreben schärfte das Beobachtungsvermögen und lenkte den Blick auf die umgebende Natur, die man der Heilkunde dienstbar zu machen suchte. Bevor wir die erste Periode der Entwickelung der griechischen Wissenschaft verlassen und zu Aristoteles und seine Schule übergehen, wollen wir daher einen kurzen Blick auf eine der wichtigsten Anwendungen der Naturwissenschaft, auf die Medizin, werfen. Es ist dies zum Verständnis des folgenden um so wichtiger, als Aristoteles aus einer alten Ärztefamilie hervorgegangen war und bei der Errichtung eines philosophischen und naturwissenschaftlichen Lehrgebäudes zum Teil auf medizinischen Kenntnissen und Anschauungen fußte.

Aus dem Orient und aus Ägypten stammende Kenntnisse und Geheimlehren haben ohne Zweifel die griechische Heilkunde stark beeinflußt, ja sie bilden vielleicht die Grundlage, auf der sich die Heilkunde in Griechenland weiter entwickelte. Das wichtigste Dokument, das wir über die medizinische Wissenschaft der Griechen besitzen, ist die hippokratische Büchersammlung. Wir begegnen dieser Sammlung seit der Begründung der großen Bibliotheken in Alexandrien. Als das Werk eines einzigen Mannes sind die hippokratischen Bücher nach neuerer Auffassung[2] nicht zu betrachten, wenn sich auch nicht in Abrede stellen läßt, daß ein bedeutender Arzt namens Hippokrates aus Kos gelebt und seine Kunst gelehrt hat[3]. Außer Hippokrates aus Kos[4], der den Beinamen der Große erhielt, sind noch sechs andere Ärzte gleichen Namens aus der alten Literatur bekannt. Es kann daher nicht Wunder nehmen, wenn die Frage nach der Person des großen Hippokrates wenig geklärt ist, zumal keine zuverlässige Biographie über ihn existiert. Daß nicht Hippokrates allein der Verfasser

[1] Näheres siehe Dacqué, a. a. O.
[2] Th. Beck, Hippokrates Erkenntnisse. Jena 1907.
[3] Platos Protagoras. Kap. III.
[4] Um 400 v. Chr.

der ihm zugeschriebenen Schriften sein kann, wird daraus geschlossen, daß sich in diesen Schriften nicht nur manche Widersprüche finden, sondern daß uns darin sogar eine Polemik der einzelnen Schriften gegeneinander begegnet [1]).

Was die Anatomie anlangt, so stützt sich das in den hippokratischen Schriften enthaltene medizinische Wissen vorzugsweise auf die Untersuchung der Tiere; doch lagen auch für den Menschen insbesondere auf dem Gebiete der Osteologie zahlreiche Beobachtungen und Erfahrungen vor. Am wenigsten waren den Alten der Bau und die Aufgabe des Nervensystems bekannt. Als besondere Ausläufer dieses Systems entdeckte man wohl zuerst den Sehnerven, den Gehörnerven und den Trigeminus. Im übrigen wurden die Nerven und Sehnen zunächst zusammengeworfen. Empfindung und Bewegung hielt man für immanente Fähigkeiten. Als ihre Quelle galt das „Pneuma", das vom Gehirn aus durch die Adern zu allen Teilen des Körpers fließen sollte [2]).

Ein großer Fortschritt gegenüber der ältesten dämonologischen Auffassung der Krankheiten bestand darin, daß die hippokratischen Schriften die psychischen Störungen als Wirkungen körperlicher Krankheitszustände auffaßten. Letztere werden durch eine Störung des Gleichgewichtes zwischen den vier Flüssigkeiten (Humores) aufgefaßt, die den Körper bilden. Als solche galten das Blut, der Schleim, die Galle und das Wasser. Die Natur wird als heilbringender Faktor gewürdigt. Sie finde, heißt es von ihr, auch ohne Überlegung immer Mittel und Wege. Auch einer vernünftigen Prophylaxe wird das Wort geredet. Die Gicht wird z. B. auf Wohlleben zurückgeführt und Mäßigkeit und Unverdrossenheit hygienisch außerordentlich hoch bewertet. Als therapeutisches Mittel wird schon die Musik empfohlen. Von der Höhe der gesamten Auffassung, die uns in den hippokratischen Schriften begegnet, zeugt der Ausspruch: Das Kennen erzeugt die Wissenschaft, das Nichtwissen den Glauben.

Unter den hippokratischen Schriften ist diejenige „Über die Diät" in zoologischer Hinsicht wichtig. Sie enthält nämlich unter den Nahrungsmitteln eine Aufzählung von etwa 50 Tieren, in ab-

1) Beck, Hippokrates' Erkenntnisse. Jena 1907. Das Werk enthält außer einer Untersuchung über die Entstehung und die Bedeutung der Hippokratischen Sammlung eine Auslese der wertvollsten Stellen mit Bezugnahme auf die moderne Heilkunde.

2) Häser, Geschichte der Medizin. Bd. I (1875). S. 141.

Nach den Ansichten, die Platon im Timäus entwickelt, bewirkt das Herz die Verknüpfung der Adern. Es ist die Quelle des durch alle Glieder heftig herumgetriebenen Blutes. Zur Abkühlung des Herzens dienen die Lungen.

steigender Reihenfolge. Auf die Säugetiere folgen die Land- und Wasservögel, die Fische, dann die Muscheltiere und endlich die Krebse. Reptilien und Insekten werden nicht erwähnt, weil sie nicht gegessen wurden. Dieses Tiersystem, das man wohl als das „koische“ bezeichnet hat (etwa 410 v. Chr.), kann als ein Vorläufer des Aristotelischen Tiersystems, das uns im nächsten Abschnitt beschäftigen soll, betrachtet werden[1].

---

3. Aristoteles und seine Zeit.

Für das griechische Volk war mit dem vierten vorchristlichen Jahrhundert schon eine Zeit des politischen Niederganges angebrochen. Kunst und Philosophie hatten gleichfalls ihre Blütezeit gehabt. Die wissenschaftliche Entwicklung tritt indessen jetzt in eine Phase, welche für die Folge von nicht geringerem Einfluß als die von den Griechen auf dem Gebiete des staatlichen Lebens und der künstlerischen Betätigung geschaffenen Vorbilder sein sollte. Es ist das wissenschaftliche, auf die Erfassung des Naturganzen in seinem Zusammenhange gerichtete Streben des Menschengeistes, das uns jetzt zum ersten Male in seiner vollen Bedeutung entgegentritt. Dieses Streben verkörpert sich in Aristoteles und seinen Schülern. Mögen auch die Vorstellungen, welche diese Männer leiteten, mit den Prinzipien der heutigen Naturforschung oft nicht vereinbar erscheinen, so kann man dennoch das Grundlegende ihrer Tätigkeit und die Bedeutung, die sie nicht nur für das Altertum und für das Mittelalter, sondern auch für die Entstehung der neueren Naturwissenschaft besitzen, nicht in Abrede stellen.

In Aristoteles begegnet uns eine der bedeutendsten Erscheinungen des Altertums, in der sich die Wissenschaft jenes Zeitraums gleichsam verkörperte[2]. Er war der Sprößling einer griechischen Ärztefamilie[3], die am mazedonischen Hofe in hohem Ansehen stand. Aristoteles wurde im Jahre 384 v. Chr. in Stagira, einer in der Nähe des Athos gelegenen griechischen Kolonie, geboren. Seine Erziehung lag, wie es damals häufiger der Fall war, in der Hand eines einzigen Mannes. Diesem bewahrte Aristoteles eine Dank-

[1] R. Burckardt, Geschichte der Zoologie. S. 18.

[2] Stahr, Das Leben des Aristoteles, als I. Teil von Stahrs Aristotelia. Halle, 1830.

[3] Sein Vater Nikomachos war Leibarzt des Königs Amyntas von Mazedonien.

barkeit, wie sie später ihm selbst wieder von seinem großen Schüler Alexander erwiesen wurde. Im übrigen fehlen über die Jugend und den Entwicklungsgang des Aristoteles nähere Nachrichten. Doch darf man annehmen, daß er gemäß der in seiner Familie herrschenden Tradition für den ärztlichen Beruf bestimmt war und sich zunächst für diesen vorbereitete. Auf diesen Umstand wird vor allem der empirische Grundzug der aristotelischen Philosophie zurückzuführen sein.

Der Brennpunkt des geistigen Lebens war um die Mitte des vierten vorchristlichen Jahrhunderts Athen. Hier hatte Sokrates gelehrt und Platon eine blühende Philosophenschule gegründet. Was Wunder, daß der begüterte und für die Wissenschaft begeisterte Jüngling seine Schritte zunächst dorthin lenkte. Im Jahre 367 trat er in die Akademie ein, an welcher Platon lehrte. Er gehörte ihr bis zu dem 347 erfolgenden Tode des Meisters ununterbrochen an. Platon soll Aristoteles seines unermüdlichen Lernens halber den Leser genannt und ihm mit einem anderen Schüler mit den Worten verglichen haben, dieser bedürfe des Sporns, Aristoteles dagegen des Zügels. Mit Recht ist Aristoteles auch später als einer der fleißigsten Gelehrten bezeichnet worden, den die Geschichte der Wissenschaft kennt [1]). Sein Ruf muß unterdessen ein hervorragender geworden sein. Es wird nämlich berichtet, daß König Philipp von Mazedonien, als er ihm im Jahre 343 die Erziehung seines im 14. Lebensjahre stehenden Sohnes übertrug, folgende Worte an Aristoteles geschrieben habe: „Ich fühle mich den Göttern zu Dank verpflichtet, daß sie den Knaben zu Deiner Zeit geboren werden ließen. Denn von Dir erzogen, hoffe ich, soll er der Nachfolge auf meinem Throne würdig werden". Und so wurde denn — ein Verhältnis, das einzig in der Geschichte dasteht — der bedeutendste Denker jener Zeit mit der Erziehung des größten Herrschers betraut.

Über das Erziehungswerk selbst, welches nur die ersten Jahre des mazedonischen Aufenthaltes unseres Philosophen (343—340) umfaßte, fehlen nähere Nachrichten. Auch sind die Erzählungen, daß der königliche Schüler seinem Lehrer 800 Talente [2]), sowie einen ganzen Trupp Leute zum Sammeln von Naturkörpern zur Verfügung gestellt habe, mindestens übertrieben. Soviel ist jedoch gewiß, daß Alexander wohl zu schätzen wußte, was er dem Aristoteles verdankte. Durch unverschuldete Umstände geriet

1) Zeller, Die Philosophen der Griechen II, 2, S. 172.
2) Ein Talent hatte in heutiger Münze den Wert von etwa 4700 Mark.

letzterer gegen das Ende der Regierung Alexanders in Ungnade. Nach Ablauf eines acht Jahre dauernden Aufenthaltes in Mazedonien, der eine Zeit des Sammelns und der Vorbereitung gewesen ist, in welcher ihn der Gedanke, eine Enzyklopädie der Wissenschaften zu verfassen, jedenfalls schon beherrscht hat, kehrte Aristoteles im Jahre 335 nach Athen zurück.

Um eine solch umfassende wissenschaftliche Tätigkeit auszuüben, wie sie uns bei Aristoteles begegnet, waren bedeutende Mittel erforderlich. Ob ihm diese durch die Gunst der mazedonischen Könige oder aus eigenem Vermögen zur Verfügung standen, läßt sich nicht mit Sicherheit entscheiden. Sehr wahrscheinlich trafen beide Umstände zusammen und ermöglichten es dem Aristoteles, daß er, als erster unter den griechischen Philosophen, in den Besitz einer größeren Bibliothek gelangte. Die Herstellung von Büchern war damals eine mühselige und kostspielige Arbeit, und die Anzahl der Exemplare einer Schrift naturgemäß gering. Es ist daher begreiflich, daß bedeutende Summen dazu gehörten, um die Schriften seines Zeitalters sich in solchem Maße zugänglich zu machen, wie es Aristoteles verstanden hat. Allein für die Werke eines Philosophen soll er drei Talente bezahlt haben [1]).

In Athen hat Aristoteles im Lykeion, einem der schönsten, gymnastischen Spielen dienenden Gebäude der Stadt, unterrichtet. Nach der Gewohnheit des Meisters, dies im Auf- und Abwandeln zu tun, erhielt seine Schule den Namen der Peripatetiker. Während Alexander die Welt eroberte, war Aristoteles hier ein König im Reiche der Wissenschaften. Von seinen zahlreichen Schriften ist indes nur der kleinere, aber wichtigere Teil erhalten geblieben.

Die Stellung des Aristoteles in dem antimazedonisch gesinnten Athen, wo er als Fremder und wegen seiner Beziehungen zu dem verhaßten großen Könige von manchem ungern gesehen wurde, ist während seines 13 jährigen Aufenthalts in jener Stadt eine wenig angenehme gewesen. Als 323 v. Chr. die Kunde von dem plötzlichen Tode Alexanders eintraf und von den meisten als ein Zeichen zur Befreiung vom mazedonischen Joche begrüßt wurde, erhoben sich daher zahlreiche Neider und Widersacher gegen Aristoteles. Er wurde der Lästerung der Götter geziehen, zog es aber vor, nicht eine Gerichtsverhandlung abzuwarten, sondern der ihm feindlich gesinnten Stadt den Rücken zu kehren, damit

[1]) Zeller, Die Philosophie der alten Griechen II, 2. S. 33.

diese, wie er im Hinblick auf Sokrates sagte, sich nicht zum zweiten Male an der Philosophie versündige. Wie richtig Aristoteles seine Lage erkannt hatte, geht daraus hervor, daß der Areopag ihn bald darauf, trotz seiner Abwesenheit, zum Tode verurteilte. Aristoteles hatte sich indessen nicht weit entfernt. Er war nach Euböa übergesiedelt in der Erwartung, durch den Sieg der Mazedonier über die Athener nach seinem langjährigen Wohnsitz zurückgeführt zu werden. Diese Hoffnung sollte jedoch nur zum Teil in Erfüllung gehen, denn schon in dem auf das Ende Alexanders folgenden Jahre, bevor man in Griechenland die frühere Ordnung wieder hergestellt hatte, setzte der Tod seinem reichen Leben ein Ziel.

Die Schriften und die Bücher des großen Philosophen gingen zunächst in den Besitz seines Lieblingsschülers, des Theophrast, über. Manches wird unvollendet gewesen und später ergänzt worden sein. Theophrast hinterließ die Schriften wieder einem Schüler. Anderthalb Jahrhunderte blieben sie darauf verborgen. Endlich gelangten sie, nachdem Sulla Athen erobert hatte, nach Rom, wo sie in zahlreichen Exemplaren abgeschrieben und verbreitet wurden. Daß dabei manches verunstaltet und verdorben wurde, unterliegt wohl keinem Zweifel. Die auf uns gekommenen Werke nehmen im Oktavformat fast 3800 Seiten in Anspruch[1]). Davon ist indessen wohl ein Viertel als nichtaristotelisch zu betrachten[2]).

Den breitesten Raum unter den Werken des Aristoteles nehmen seine naturwissenschaftlichen Schriften ein. Sie betreffen das gesamte Universum von den allgemeinen Bedingungen der Körperwelt und dem Weltgebäude bis herab zur Beschreibung und Zergliederung der die Erde als Tiere und Pflanzen bevölkernden Einzelwesen. Folgende Schriften naturwissenschaftlichen Inhalts sind bei der nachfolgenden Darstellung des aristotelischen Lehrgebäudes vor allem in Betracht gezogen: „Die physikalischen Vorträge", „Über das Weltgebäude", „Über Entstehen und Vergehen", „Die Meteorologie" und „Die mechanischen Probleme". Unter den rein philosophischen Werken des Aristoteles verdient wegen ihrer Bedeutung für

1) Heller, Geschichte der Physik. Bd. I. S. 48.

2) Gedruckt wurden die Schriften des Aristoteles zuerst im Jahre 1473 in Rom und zwar in lateinischer Übersetzung. 1493 erschien die erste gedruckte griechische Ausgabe. Augenblicklich gilt als beste die im Auftrage der Berliner Akademie erschienene Ausgabe von Bekker. Eine griechisch-deutsche Ausgabe rührt von Prantl her. Sie erschien in Leipzig bei Wilhelm Engelmann und wurde der hier gegebenen Darstellung der aristotelischen Lehren besonders zugrunde gelegt.

jeden Zweig besonderer Wissenschaft das „Organon" hervorgehoben zu werden. Es sind dies die von Aristoteles zum ersten Male in ausführlicher Darstellung entwickelten Grundzüge der formalen Logik.

Des Aristoteles Verdienst um die Naturwissenschaften ist ein doppeltes. Einmal hat er das zerstreute Einzelwissen seiner Vorgänger vereinigt und der Nachwelt durch eine außerordentlich fruchtbare schriftstellerische Tätigkeit überliefert. Zum andern beschränkte er sich keineswegs auf eine bloße Kompilation dieses Wissens, wie es später Plinius tat. Vielmehr stellte er sich die gewaltige Aufgabe, aus philosophischen Prinzipien heraus ein System aller Wissenschaften zu entwickeln. Die Philosophie, das Streben nach Welterklärung, war also der Ausgangs- und der Angelpunkt, aus dem bei ihm die Wissenschaft erwuchs. Denken und Welt in ihrem Gegensatz und in ihrer Wechselbeziehung wollte Aristoteles begreifen und begreiflich machen. Die Philosophie, die bei Platon noch voll poetischen Schwunges gewesen, wurde bei Aristoteles nüchterne, denkende Betrachtung des Ichs mit seiner Denktätigkeit und seinen Anschauungsformen, sowie der Welt mit ihren Einzeldingen. In ihnen suchte er die Idee, welche bei Platon über und hinter den Dingen stand, sowie die Zwecke nachzuweisen. In der Befolgung des dialektischen Verfahrens, das er meisterhaft zu handhaben wußte, ist er ein Jünger des Sokrates und des Platon. Während indessen die Philosophie der letzteren vorzugsweise auf dem Boden der Dialektik wurzelte, gelingt es Aristotoles, das beobachtende Verfahren der Naturwissenschaft mit der Dialektik zu verknüpfen, was seine Lehrmeister nicht vermocht hatten. „Zwar gelang es ihm nicht," sagt Zeller in seiner Philosophie der Griechen, „beide Elemente völlig ins Gleichgewicht zu bringen, doch hat er durch ihre Verknüpfung das Höchste unter den Griechen geleistet." Sokrates und Platon hatten zuerst nach den Begriffen gefragt und die oft nur aus der Betrachtung des Sprachgebrauches und der herrschenden Meinung gewonnene Erkenntnis des Begriffes dem weiteren Forschen zugrunde gelegt, während Aristoteles außer dem Begriff die bewegenden und stofflichen Ursachen ins Auge faßte. Er ist nicht nur ein scharfer Denker, sondern ein solch unermüdlicher Beobachter, daß ihm nicht selten ein übertriebener Empirismus zum Vorwurf gemacht worden ist. In treffender Würdigung der aristotelischen Denkweise sagt Zeller[1]): „Da die griechische Wissenschaft mit der Spekulation

[1]) Zeller, Die Philosophie der Griechen.

angefangen hatte und die Erfahrungswissenschaften erst spät zu einiger Ausbildung gelangten, so war es natürlich, daß das dialektische Verfahren eines Sokrates und Platon einer strengeren Empirie den Rang ablief. Auch Aristoteles hält sich zunächst an dies Verfahren, ja er bringt es theoretisch und praktisch zur Vollendung. Daß die Kunst der empirischen Forschung bei ihm eine gleichmäßige Ausbildung erfahren werde, ließ sich nicht erwarten. Und ebenso lag ihm eine schärfere Unterscheidung beider Methoden noch fern. Diese ist erst durch die höhere Entwicklung der Erfahrungswissenschaften und, von philosophischer Seite, durch die erkenntnistheoretischen Untersuchungen herbeigeführt worden, welche die neuere Zeit ins Leben gerufen hat."

Eine Reihe von Begriffen oder Kategorien sind es, unter welche Aristoteles sämtliche Gegenstände der denkenden Betrachtung einzugliedern suchte. Die wichtigsten sind Substanz, Quantität, Qualität, Lage, Wirken und Leiden. Als Endzweck der gesamten Natur erschien ihm aber der Mensch. Im Besitz der aristotelischen Philosophie und Wissenschaftslehre hat letzterer an dieser, ihm zugewiesenen Stellung zwei Jahrtausende festgehalten, bis man den Zweckbegriff durch den Begriff der mechanischen Kausalität ersetzte und den Menschen als ein Glied in der Kette der übrigen Wesen begreifen lernte.

Wir gehen nach dieser allgemeinen Charakteristik zu dem Verhältnis über, in welchem Aristoteles zu den Einzelwissenschaften gestanden hat.

Die Bedeutung der Mathematik hat er in seinen Schriften oft hervorgehoben, doch sind eigentliche mathematische Entwicklungen darin nicht enthalten. Wohl aber bieten sie manche beachtenswerte Äußerung über schwierige Begriffe, wie über den Grenzbegriff und das Unendliche. „Stetig", sagt Aristoteles z. B., „ist ein Ding, wenn die Grenze eines jeden von zwei aufeinander folgenden Teilen, in der sie sich berühren, eine und die nämliche wird." Er löste ferner das Paradoxon vom Durchlaufen unendlich vieler Raumpunkte in endlicher Zeit dadurch, daß er innerhalb der endlichen Zeit unendlich viele Zeitteilchen von unendlich kleiner Dauer annahm. Das Unendliche ist ferner für ihn nichts Wirkliches, sondern es gibt nur Endliches von beliebiger Größe und von beliebiger Kleinheit[1]).

---

1) Eine Zusammenstellung der auf die Mathematik bezüglichen Stellen hat Biancani veröffentlicht: Aristotelis loca mathematica, 1615.

Am meisten Erfolg hatte man auf dem Gebiete der Naturwissenschaft dort aufzuweisen, wo die rasch emporblühende Mathematik Anwendung finden konnte. Wie die ersten erfolgreichen Schritte auf dem Gebiete der Astronomie, so waren die Anfänge der Mechanik von dem Erreichen einer gewissen Stufe des mathematischen Denkens abhängig. Dem Verlauf der mechanischen Vorgänge angemessene Begriffe entwickeln sich daher weit später als das Vermögen, die Gesetze der Mechanik anzuwenden, ohne sich ihrer klar bewußt zu sein. Das letztere mußte nämlich schon bei der frühesten Ausübung jeder gewerblichen Tätigkeit eintreten.

Mit den Grundfragen der Mechanik hat sich die griechische Philosophie schon in der vorsokratischen Zeit beschäftigt. Insbesondere wandte man sich den Problemen der Schwere und der Bewegung zu[1]). Auch daß aus der Bewegung, infolge der damit verbundenen Reibung, Wärme hervorgeht, wurde frühzeitig erkannt. Anaxagoras wollte sogar das Licht der Gestirne aus diesem Vorgange herleiten.

Zu den alltäglichsten Erscheinungen, die vor allem dazu angetan sind, das Nachdenken wachzurufen, gehört die Bewegung frei fallender Körper. Diese Erscheinung, von der ausgehend später Newton zur Entdeckung des Weltgesetzes geführt wurde, faßte Aristoteles irrig auf. Bezeichnend für seine ganze Geistesrichtung ist es, daß er nicht von der Erscheinung selbst, sondern von begrifflichen Festsetzungen ausging und bei diesen stehen blieb. Er betrachtet zunächst die Bewegung im allgemeinen und unterscheidet zwei Arten derselben, die begrenzte, geradlinige, und die unbegrenzte, kreisförmige. Letztere, als die angeblich vollkommenere, schreibt er den himmlischen Körpern zu. Die geradlinige Bewegung wird aus einem entweder zum Zentrum hin oder vom Zentrum fort gerichteten Streben der Körper erklärt, und so werden die Begriffe Leichtigkeit und Schwere abgeleitet. Die erstere Eigenschaft wird der Luft und dem Feuer, die zweite dem Wasser und der Erde, d. h. allen flüssigen und festen Körpern zugeschrieben. Aus diesen Erklärungen folgt nun für Aristoteles mit zwingender Notwendigkeit, daß der schwerere Körper, weil sein Streben zum Zentrum ein größeres sei, sich schneller abwärts bewegen müsse als der leichtere. Hieraus wurde dann später geschlossen, daß die Körper genau in demselben Verhältnis schneller fielen, je größer ihr Gewicht sei, so daß beispielsweise ein hundertpfündiges

[1]) E. Haas, Grundfragen der antiken Dynamik (Archiv f. d. Geschichte d. Naturwiss. u. d. Technik. 1908. 1. Heft).

Stück Eisen auch hundertmal so schnell zur Erde gelange wie ein solches von einem Pfund Gewicht. Jeder, ohne Voreingenommenheit angestellte Versuch, hätte diesen Schluß als unhaltbar dartun müssen. Trotzdem blieb er, wenn schon sich hin und wieder Zweifel regten, in Geltung, bis Galilei ihn durch seine Fallversuche glänzend widerlegte.

Man kann[1]) die Unterscheidung zwischen irdischen und himmlischen, sowie zwischen natürlichen und erzwungenen Bewegungen in erster Linie als das Hindernis ansehen, das der Entwicklung der Mechanik im Altertum und Mittelalter im Wege stand. Erst als diese Schranken fielen, war die Errichtung der neueren Mechanik möglich. Zu den Schwächen der antiken Mechanik rechnet auch der Umstand, daß man nicht zu einer klaren Vorstellung von dem Begriff des Beharrungsvermögens gelangte. Zwar finden sich Ansätze[2]), doch hielten alle Physiker an der Annahme fest, ein Körper könne sich unmöglich bewegen, wenn nicht eine äußere Kraft oder die ihm innewohnende Schwere und Leichtigkeit auf ihn wirkten[3]). Den letzteren Begriff vermieden wenigstens die Atomisten, die alle Körper als schwer betrachteten.

Über den Inhalt der mechanischen Probleme des Aristoteles sei noch einiges im einzelnen mitgeteilt. Die Art der Darstellung besteht darin, daß der Philosoph an Erfahrungstatsachen eine Anzahl von Fragen anknüpft[4]), die er selten auf mathematischem Wege, wie später mit so großem Erfolge Archimedes, sondern meist, ausgehend von bestimmten Definitionen, durch dialektische Kunststücke zu lösen sucht. Den Stoff zu seinen Untersuchungen bieten ihm das Rad, der Hebel, das Ruder, die Zange, die Wage und andere bekannte Werkzeuge. Die Beantwortung der Fragen geschieht oft wieder in Frageform. So heißt es im 6. Kapitel: „Warum das an sich kleine Steuer, am Ende des Schiffes angebracht, eine so große Gewalt hat? Weil vielleicht das Steuer ein Hebel ist, die Last das Meer und der Steuermann das Bewegende".

Auffallend erscheint es Aristoteles zunächst, daß eine große Last durch eine kleine Kraft bewegt werden kann, wie beim Hebel.

---

1) Mit Haas a. a. O. (Archiv f. d. Geschichte d. Naturwiss. u. Technik. 1908. S. 47).

2) Besonders bei Plutarch und bei Lukrez.

3) Haas a. a. O. S. 44.

4) Daher lautet der Titel des Werkes auch „Quaestiones mechanicae".

Die an diesem Werkzeug sich das Gleichgewicht haltenden Lasten setzt Aristoteles ganz richtig den Längen der Hebelarme umgekehrt proportional. Den Grund für dieses Gesetz findet er darin, daß die kleinere Last, ihrer größeren Entfernung vom Stützpunkt entsprechend, einen größeren Kreisbogen durchlaufen müsse. Auf den Hebel wird auch der Keil und der Tragbalken zurückgeführt. Letzteres geschieht (Abb. 10) durch folgende Erörterung: „Zwei Leute tragen auf einer Stange AB eine Last G.“ Warum, fragt



Abb. 10. Der Tragbalken bei Aristoteles.

Aristoteles, wird der am stärksten gedrückt, dem G am nächsten ist? AB sagt er darauf, wird hier gebraucht wie ein Hebel. Der G nächste Träger bei A ist das Bewegte, der andere Träger bei B ist das Bewegende. Und je weiter dieser von der Last entfernt ist, desto leichter bewegt er.“ Den einarmigen Hebel hat Aristoteles nicht als eine besondere Art betrachtet.

Ein wichtiger Abschnitt des aristotelischen Werkes ist auch derjenige, der den Satz vom Parallelogramm der Kräfte enthält. „Wenn etwas“, heißt es dort, „nach irgend einem Verhältnis bewegt wird, so daß es eine Linie durchlaufen muß, so wird diese Grade die Diagonale einer Figur sein, welche durch die nach dem gegebenen Verhältnis zusammengesetzten Linien bestimmt wird. Sei zum Beispiel das Verhältnis der Bewegung dasjenige, welches AB zu AC hat. Es werde also A nach B getrieben, AB aber nach CG. Ebenso gelangt in derselben Zeit A nach D, in welcher AB nach EF gelangt. Ist dann das Verhältnis der Bewegung in letzterem Falle dasselbe, d. h. verhält sich AD : AE wie AB : AC, so ist das kleine Parallelogramm dem größeren ähnlich; und es wird folglich die Diagonale AF in die Diagonale AG fallen. Hieraus wird also offenbar, daß ein auf der Diagonale nach zwei Richtungen bewegter Gegenstand notwendig in dem Verhältnis der Seiten bewegt wird. Ändern dagegen zwei Bewegungen in jedem Augenblick ihr Verhältnis, so kann der Körper unmöglich eine geradlinige, sondern er muß eine krummlinige Bewegung durchlaufen.“ Auch der Satz, daß die Bewegung im Kreise aus zwei Bewegungen, die nach dem

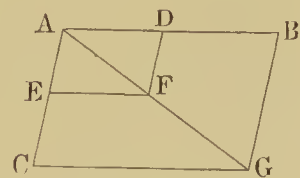


Abb. 11. Der Satz vom Parallelogramm der Kräfte.

Mittelpunkt und in der Richtung der Tangente erfolgen, zusammengesetzt gedacht werden kann, ist auf Aristoteles zurückzuführen. Ferner hat sich Aristoteles mit dem Problem des Stoßes beschäftigt, das erst durch Wallis, Wren und Huygens seine Lösung finden sollte. Er stellt nämlich die Frage, weshalb ein geringer Stoß auf einen Keil viel ausrichten könne, während ein gegen den gleichen Keil ausgeübter Druck nur wenig leiste[1]).

In exakt-wissenschaftlicher Hinsicht sind dem Aristoteles noch zwei Verdienste zuzuschreiben. Einmal war er wohl einer der ersten, der seine Erörterungen durch Zeichnungen zu unterstützen suchte. Ferner findet sich bei ihm der Keim zu dem Gedanken, die in Beziehung zu setzenden Größen mit Buchstaben zu bezeichnen.

Ein anderes Gebiet, das sich gleichfalls schon im Altertum der exakten Behandlung zugänglich erwies, war die Akustik. So hatten z. B. die Pythagoreer erkannt, daß die Längen von gleich dicken und in gleichem Maße gespannten Saiten, wenn sich Konsonanzen ergeben sollen, in einem einfachen Verhältnis stehen müssen. Dieses Verhältnis fanden sie für die Oktave gleich 1 : 2. Und zwar geschah dies mit Hilfe eines Monochords. Dieser Apparat besaß die Einrichtung, daß eine Saite über einen Steg geführt und durch Gewichte beliebig gespannt werden konnte. In dieser Vorrichtung begegnet uns der erste Apparat, vermittelst dessen auf experimentellem Wege ein Naturgesetz gefunden wurde. Auch bei Aristoteles finden wir einige zutreffende Vorstellungen über akustische Vorgänge. Aristoteles schreibt z. B. der Luft die vermittelnde Rolle bei den Schallerscheinungen zu und führt die letzteren auf Schwingungen zurück, die sich bis zu unserem Ohre fortpflanzen. „Ein Ton", sagt er, „entsteht nicht dadurch, daß der tönende Körper der Luft, wie einige glauben, eine gewisse Form eindrückt, sondern dadurch, daß er die Luft auf eine angemessene Weise in Bewegung setzt. Die Luft wird dabei zusammengedrückt und auseinandergezogen und durch die Stöße des tönenden Körpers immer wieder fortgestoßen, so daß sich der Schall nach allen Richtungen ausbreitet." Auch das Echo wurde von Aristoteles ganz richtig als ein Reflex erkannt.

Die gleiche Anschauung, die er sich vom Schall gebildet, übertrug Aristoteles auf das Gebiet der Optik. Vor ihm hatte sich die wunderliche Vorstellung entwickelt, das Sehen sei eine

1) Mechanische Probleme. Ausg. von Poselger 1881. S. 34.

Art Tasten, bei dem das Auge sich aktiv verhalte und sozusagen Fühlfäden nach den Körpern hin erstrecke. Nach den ältesten Ansichten ist das Auge sogar feuriger Natur. Auch bei den Indern begegnen wir dieser Meinung. So schreibt Susruta der Linse, die häufig als das Hauptorgan des Auges betrachtet wurde, ewiges Feuer zu[1]. In Übereinstimmung damit betrachteten die ältesten griechischen Philosophen, wie die Pythagoreer, das Sehen als eine heiße Ausdünstung, die vom Auge nach dem wahrgenommenen Gegenstande strömen sollte.

Aristoteles wendet dagegen ein[2], daß man dann auch während der Nacht zum Sehen befähigt sein müsse. Ähnlich wie beim Schall die Luft zur Übermittelung erforderlich sei, setze auch die Lichtempfindung zwischen dem Auge und dem gesehenen Gegenstande ein Medium voraus, das die Wirkung zu übertragen vermöge. Das Innere des Auges ist ferner nach Aristoteles deshalb durchsichtig, weil sich der Sitz des Sehvermögens auf der hinteren Seite befinde. Auch an eine Erklärung der Farben wagt sich Aristoteles. Sie sollen aus der Mischung von Weiß und Schwarz, die er als Grundfarben bezeichnet, hervorgehen, ein Gedanke, der oft wiederkehrte. Er wendet sich dann gegen die Annahme, die Farben seien Ausflüsse der farbigen Körper. „Man muß nicht annehmen," fügt er hinzu, „daß alles durch Berührung empfunden wird. Sondern es ist besser zu sagen, die Empfindung des Sehens erfolge durch eine Bewegung des Mittels zwischen dem Auge und dem Gesehenen." Es begegnet uns also hier schon im Keime der Widerstreit zwischen der Emanations- und der Vibrationstheorie, der sich durch das 17. und 18. Jahrhundert hindurchzog und erst im 19. entschieden wurde[3]. Trotz mancher Unrichtigkeiten, die sich bei Aristoteles finden, hat kaum ein anderer Denker des Altertums solch klare Vorstellungen über optische Dinge entwickelt, wie er. Daher knüpft selbst Goethe in seiner Schrift „Zur Farbenlehre" wieder an ihn an und gibt dort eine Darstellung der aristotelischen Ansichten über das Licht und die Farben.

Erwähnt sei noch, daß die von den Atomisten (Leukipp, Demokrit) geschaffenen optischen Vorstellungen einen Rückschritt gegen Aristoteles bedeuten. Die Atomisten fielen eigent-

[1] Haas, Antike Lichttheorien (Archiv für Gesch. d. Philos. 20. Bd. 1907. 3. Heft).

[2] Aristoteles, Über die Sinne. Kap. II.

[3] Wilde, Über die Optik der Griechen, Berlin 1832.

lich in die alten Vorstellungen zurück. Sie kehrten das Verhältnis aber um und ließen Abbilder der Dinge von den Gegenständen sich loslösen und ins Auge strömen. Mit beiden Anschauungen brach Aristoteles, indem er die Bedeutung des Mediums für den Vorgang des Sehens erkannte. Im Mittelalter glaubte man von jeder physikalischen Erklärung absehen zu dürfen, da die Seele keiner äußeren Beihilfe bedürfe[1]). Man nahm vielmehr beim Sehen eine unvermittelte Fernwirkung an und schuf damit einen Begriff, der lange dazu dienen mußte, einen aus mechanischen Prinzipien nicht zu erklärenden Vorgang wenigstens mit einem Worte zu verbinden.

Obgleich die Beschäftigung mit Fragen der Mechanik, der Optik und der Akustik ganz besonders zu wissenschaftlichen Beobachtungen und zu Versuchen anregt, finden wir bei Aristoteles, wie fast überall im Altertum, nur geringe Ansätze nach dieser Richtung. Stets wird an die Meinungen früherer angeknüpft, darauf werden Tatsachen der gewöhnlichen Erfahrung herangezogen und daraus auf dialektischem Wege, unter Gedankensprüngen und logischen Kunstgriffen, ein Ergebnis gewonnen, das sich dem herrschenden System anpaßt, oft aber auch auf eine bloße Worterklärung hinausläuft. Das Ergebnis der so geübten Spekulation sucht Aristoteles mitunter wieder durch neue Beispiele aus der Erfahrung zu stützen. Das Unzulängliche seines Verfahrens scheint ihm indessen manchmal selbst zum Bewußtsein gekommen zu sein. So sagt er an einer Stelle: „Noch sind die Erscheinungen nicht hinreichend erforscht. Wenn sie es aber dereinst sein werden, ist der Beobachtung mehr zu trauen, als der Spekulation und letzterer nur insoweit, als sie mit den Erscheinungen Übereinstimmendes ergibt.“ Auf dem Gebiete der Astronomie hat Aristoteles diesen Grundsatz, den im übrigen erst die neuere Naturforschung zur vollen Geltung brachte, auch hin und wieder befolgt[2]). Andererseits verleugnet er in seinem, von diesem Gebiete handelnden Werke auch seine an ihm gewohnte Denkart nicht. So bemüht er sich, aus Vernunftgründen darzutun, daß es nur ein Himmelsgewölbe geben könne und das Universum entstehungslos und unvergänglich sei. Sehr klar ist seine Zusammenstellung der Gründe für die Kugelgestalt der Erde. Der betreffende Abschnitt

---

1) Haas a. a. O. S. 386.

Plato hatte die Lehre von den Sehstrahlen und den Abbildern zu einer Theorie der Zusammenstrahlung (Synergie) verschmolzen.

2) Wolff, Geschichte der Astronomie, S. 42.

möge hier in etwas freierer Wiedergabe folgen[1]): „Daß die Erde eine Kugel ist, ergibt sich auch aus der Sinneswahrnehmung. Bei den Mondfinsternissen ist nämlich die abgrenzende Linie, welche der Schatten der Erde zeigt, immer gewölbt. Ferner ist durch die Erscheinung der Sterne nicht bloß augenfällig, daß die Erde rund ist, sondern auch, daß sie nicht eben groß sein kann. Wenn wir nämlich nur eine geringe Ortsveränderung gegen Süden oder Norden vornehmen, so zeigen die Sterne über unserm Haupte eine große Veränderung, denn einige Sterne werden in Ägypten gesehen, hingegen in den nördlichen Ländern nicht. Und diejenigen Sterne, welche in den nördlichen Gegenden immerwährend am Himmel stehen, gehen in den südlichen unter. Folglich ist die Erde nicht nur kugelförmig, sondern auch nicht groß, denn sonst würde sich bei einer nur so geringen Ortsveränderung nicht die beschriebene Erscheinung zeigen. Es scheint daher nicht unglaublich, daß die Gegend um die Säulen des Herkules mit jener von Indien zusammenhängt und daß es auf diese Weise nur ein Meer gibt. Auch behaupten die Mathematiker, daß der Umfang der Erde etwa 400000 Stadien betrage. Auch daraus würde folgen, daß die Erde nicht nur kugelförmig, sondern im Vergleich zu den übrigen Gestirnen nicht groß ist."

Von eigener Beobachtung eines seltenen astronomischen Ereignisses zeugt folgende Stelle, die gleichfalls im Wortlaute mitgeteilt sei[2]): „Wir haben nämlich gesehen, wie der Mond einmal halbkreisförmig war und unter dem Mars vorüberging. Letzterer verschwand an der dunklen Hälfte des Mondes und kam an der beleuchteten wieder hervor. In gleicher Weise berichten solches, auch bezüglich der übrigen Gestirne, diejenigen, die schon seit einer sehr langen Reihe von Jahren Beobachtungen angestellt haben, nämlich die Ägypter und die Babylonier, von denen wir viele beglaubigte Nachrichten betreffs eines jeden Gestirns besitzen."

Die Kugelform legt Aristoteles nicht nur der Erde, sondern auch dem Himmelsgewölbe bei. Letzteres müsse notwendig kugelförmig sein, denn die Kugel sei sowohl für das Wesen des Universums die am meisten eigentümliche, als auch von Natur aus die ursprünglich erste Form[3]). Für die Welt nimmt Aristoteles räumliche Begrenzung an. Die Gestirne seien aus Äther gebildet, dessen

[1]) Nach der Ausgabe von Prantl.

[2]) Nach der Übersetzung von Prantl, Aristoteles' vier Bücher über das Himmelsgebäude. Leipzig 1857. Verlag von W. Engelmann. S. 180—181.

[3]) De coelo II 4.

Bewegung die kreisförmige sei, während den irdischen Elementen die geradlinige zukomme. Die fünf Planeten, die Sonne und der Mond sollen, wie schon Eudoxos behauptet, jeder in seiner eigenen Sphäre bewegt werden. An diesen Sphären, unter denen man sich konzentrische, die im Mittelpunkte ruhende Erde umgebende Kugelschalen vorstellte, sind diese sieben Weltkörper befestigt, während die Fixsterne eine gemeinsame Sphäre besitzen und ihre gegenseitige Lage innerhalb dieser Sphäre nicht ändern. Um die Ungleichheiten in der Bewegung der Planeten zu erklären, hatte schon Eudoxos, der Begründer der Theorie der homozentrischen Sphären, für jeden Wandelstern mehrere Sphären eingeführt. Für jedes dieser Gestirne mußte, da es wie die Fixsterne auf- und unterging, eine der Fixsternbewegung entsprechende Sphäre angenommen werden. Eine zweite Sphäre, deren größter Kreis in die Ekliptik fiel, bewegte den Planeten dann entgegengesetzt zur täglichen Drehung, also von West nach Ost, in einer Zeit, innerhalb welcher der Planet den Tierkreis durchläuft. Weitere Sphären waren zur Erklärung der Stillstände und der zeitweiligen Rückwärtsbewegung von Ost nach West nötig. Für den Mond und für die Sonne waren gleichfalls zwei Sphären nicht ausreichend. Im ganzen benötigte Eudoxos zur Darstellung der Bewegungen der Himmelskörper 27 Sphären. Zu diesen fügte Kalippus 7, und Aristoteles noch 22 weitere Sphären hinzu. Dadurch wurde der Mechanismus so verwickelt, daß man ihn endlich aufgab und durch die Epizyklentheorie ersetzte. Eine Rekonstruktion der Anschauungen des Eudoxos verdanken wir Schiaparelli[1]). Es handelt sich bei der Annahme der Sphären um keine mystischen Ungereimtheiten, sondern um eine kinetische Hilfsfiktion zur möglichst genauen Beschreibung der beobachteten Vorgänge. Man darf bei der Beurteilung älterer Hypothesen nie vergessen, daß auch unsere modernen Theorien im Grunde genommen solche Hilfsvorstellungen sind, die mit dem Fortschreiten der Wissenschaft oft durch neue Vorstellungen verdrängt werden. Man darf ferner wohl annehmen, daß Eudoxos selbst seine Hilfsvorstellung als das betrachtete, was sie war, und daß erst Spätere seinen homozentrischen Sphären Realität beigemessen haben. Bezeichnend ist auch der Ausdruck, der bei den alten Schriftstellern oft wiederkehrt, daß man für die Bewegung der Himmelskörper Theorien

1) Schiaparelli, Le sfere omocentriche di Eudosso, di Calippo e d'Aristotele. Mailand 1876; deutsch von Horn. Abhandl. z. Gesch. d. Math. 1. Heft.

aufgestellt habe, „um die Erscheinungen zu retten“, d. h. sie mit einer, den Verstand befriedigenden, kinetischen Darstellung in Einklang zu bringen. Hielt man an dem Grundsatz fest, am Himmel seien nur gleichmäßige und kreisförmige Bewegungen möglich, so boten die Sphärentheorie und später die Epizyklentheorie eine Lösung der den alten Astronomen gestellten Aufgabe, die dem damaligen Stande des Wissens entsprach.

Die Vorstellung, die Erde und der Himmel seien kugelförmig, führte schon im Altertum zur Konstruktion von Globen. Zuerst begegnen uns Himmelsgloben. Ein solcher ist uns in dem „Farnesischen Globus“ erhalten geblieben. Er wird im Nationalmuseum zu Neapel aufbewahrt und bildet die Marmorkugel, welche der „Farnesische Atlas“ trägt. Dieser Globus ist vermutlich eine Nachbildung einer von Eudoxus hergestellten Sphäre. Auf dem Farnesischen Globus sind die Sternbilder in reliefartiger Darstellung gemeißelt. Nach der Lage des Frühlingspunktes zu urteilen, stammt das Kunstwerk aus dem 3. vorchristlichen Jahrhundert. Später haben die Araber, unter Benutzung der griechischen Sternkataloge, in der Verfertigung von Himmelsgloben Hervorragendes geleistet. Von solchen aus dem 13. Jahrhundert stammenden Globen sind mehrere erhalten[1]). Die Verfertigung von Erdgloben kam erst im Zeitalter der Entdeckungen auf, als sich der geographische Gesichtskreis über die gesamte Erde auszudehnen begann[2]). Die von den Himmelskörpern ausgehende Wärme und ihr Licht führt Aristoteles darauf zurück, daß „die Luft unterhalb der Sphäre erhitzt wird“. „Denn“, fügt er hinzu, „von Natur aus versetzt Bewegung sowohl Hölzer als auch Steine und Eisen in Feuerhitze[3])“. Aber nicht nur die Erde und das Himmelsgewölbe sind nach Aristoteles kugelförmig, sondern er legt diese Form den Gestirnen ganz allgemein bei[4]). Die Ansicht, letztere müßten eine Art Sphärenmusik erzeugen, kann er nicht teilen. Denn übermäßiges Geräusch, meint er, zerstöre selbst die widerstandsfähigsten Körper[5]). Bei der Erklärung des Flimmerns fällt er in die an anderer Stelle von ihm bestrittene Sehtheorie zurück. Er meint nämlich, die Planeten besäßen ein ruhiges Licht, weil sie nahe seien und der „Blick sie deshalb in seiner vollen Kraft erreiche“.

1) Siehe Wolff, Geschichte der Astronomie. S. 195.
2) Siehe Martin Behaim, 1492.
3) De coelo II, 7.
4) „ „ II, 8.
5) „ „ II, 9.

„Hingegen auf die Fixsterne gerichtet“, fährt er fort, „wankt der Blick wegen der Länge des Abstandes, daher flimmern die am Himmel fest eingefügten Sterne, die Planeten aber nicht[1]).

Was endlich die Kometen anbetrifft, so rechnete Aristoteles sie nicht zu den Himmelskörpern, sondern er hielt sie für Gebilde der irdischen Atmosphäre. Welchen Wert man dieser Meinung beilegte und wie sehr die Kometen das allgemeine Interesse fesselten, geht daraus hervor, daß noch am Ende des 17. Jahrhunderts in manchen Ländern kein Professor angestellt wurde, wenn er nicht öffentlich erklärte, daß er außer mit den übrigen Grundsätzen des Aristoteles auch mit dessen Ansichten über die Kometen einverstanden sei[2]).

Bis auf Aristoteles ist auch eine andere Lehre, die in ihren letzten Konsequenzen das paradoxeste Erzeugnis des menschlichen Geistes darstellt, die Lehre von der steten Wiederkehr *(ἀποκατάστασις)* in ihren Anfängen zurückzuverfolgen[3]). Aristoteles spricht an einigen Stellen seiner Werke den Gedanken aus, ähnlich der Bewegung der Gestirne vollziehe sich alles irdische Geschehen periodisch in stetem Kreislauf. So finde z. B. auch ein steter Wechsel zwischen Meer und Land statt[4]). Spätere Philosophen, so die Stoiker, waren schon, wie später Nietzsche, in maßloser Übertreibung eines an sich richtigen Gedankens auf die sonderbare Lehre gekommen, daß in großen Weltperioden in steter Wiederkehr selbst das Einzelwesen in seiner ganz bestimmten Individualität, z. B. ein bestimmtes Dorf, ein Sokrates u. s. w. mit allen gleichzeitigen Wesen, Dingen und Erscheinungen wiederkehren müsse[5]). Erklärlich wird dieser Irrgang des menschlichen Geistes daraus, daß für die Gestirne, denen man einen maßgebenden Einfluß auf alles Werden und Vergehen zuschrieb, eine Rückkehr in die Anfangsstellung angenommen wurde. Sobald diese erreicht sei, sollten sich alle Geschehnisse in der gleichen Folge von neuem abspielen. Man unternahm es sogar, auf Grund der vorhandenen Beobachtungen die Rückkehr der Planeten in dasselbe Ortsverhältnis zu berechnen. Aristarch hatte dafür

1) De coelo II, 8.

2) Kaiser, Der Sternenhimmel. Berlin 1850.

3) Daß Nietsche dieser Lehre einen besonderen Wert beilegte, ist bekannt genug.

4) E. v. Lasaulx, Die Geologie der Griechen und Römer. München 1851. S. 32.

5) Auch im Neuen Testament findet sich ein Anklang an diese Lehre (Apostelgeschichte 3. 21).

einen Zeitablauf von 2484 Jahren angenommen. Andere hatten Jahrmillionen herausgerechnet. Unter den neueren hat sich selbst Tycho mit der Berechnung dieses, annus mundanus genannten, Zeitraumes befaßt und 25816 Jahre gefunden. Ganz aufgegeben wurde dieser Gedanke wohl erst, als man erkannte, daß die Zahl der Planeten weit größer als bisher angenommen sei.

In seinen vier Büchern über die Meteorologie beschreibt und erörtert Aristoteles die irdischen Naturerscheinungen. Zu diesen rechnet er auch das Auftreten der Kometen und der Sternschnuppen, die er als Erzeugnisse unserer Atmosphäre betrachtet. Auch von der Gestalt und der Höhe der Wolken, von Tau, Eis, Schnee, von der Entstehung der Winde und vom Gewitter ist die Rede.

Erdbeben werden nach Aristoteles durch eingeschlossene Luft erzeugt. Sehr ausführlich wird vom Regenbogen gehandelt. Aristoteles sucht diese Erscheinung einzig aus der Reflexion des Lichtes abzuleiten. Die Wassertröpfchen, meint er, seien Spiegelchen, die indessen infolge ihrer Kleinheit nicht die Form, sondern nur die Farbe des leuchtenden Gegenstandes, gemischt mit ihrer eigenen Farbe, zurückwürfen. Dem Regenbogen werden nur die drei Farben rot, grün und violett zugeschrieben. Doch zeige sich häufig zwischen rot und grün eine fahle Farbe (das Gelb). Auch die Beziehung des Regenbogens zur Sonnenhöhe wird erörtert und erwähnt, daß es um Mittag im Sommer in Griechenland keinen Regenbogen gebe. Den Mondregenbogen, sagt Aristoteles, habe er in 50 Jahren nur zweimal beobachtet. Die Erscheinung sei so selten, weil sie nur bei Vollmond eintrete. Auch der künstliche Regenbogen, der sich im zerstäubten Wasser zeigt, findet Erwähnung.

Zum Schlusse handelt Aristoteles von den vier Elementen. Ausführlichere Darlegungen über diesen Gegenstand enthält jedoch die Schrift über „Entstehen und Vergehen". Daß nur vier Elemente möglich seien, beweist Aristoteles auf spekulativem Wege. Seine Ausführungen sind für die Beurteilung der aristotelischen Denkweise so charakteristisch, daß wir auf sie etwas näher eingehen wollen [1]).

[1]) Auch Platon entwickelte schon die Lehre von den vier Elementen, sowie Ansichten über die Stoffe, aus denen sich die Mineralien, die Pflanzen und die Tiere zusammensetzen. Alchemistische Vorstellungen begegnen uns bei Platon und bei Aristoteles noch nicht, dennoch sind ihre Lehren von der Natur der Stoffe von großem Einfluß auf die Entstehung der Alchemie gewesen. Näheres hierüber enthält die Abhandlung O. E. v. Lippmanns, Chemisches und Physikalisches bei Platon (Journal für praktische Chemie. Bd. 76. S. 513 u. f.).

Es gibt, meint er, vier Grundempfindungen: warm, kalt, feucht und trocken. Diese Empfindungen werden paarweise vereint wahrgenommen. Mathematisch betrachtet, können sich sechs solcher Vereinigungen (sechs Kombinationen zu zwei) bilden. Doch sind zwei als sich widersprechend unmöglich, nämlich die Vereinigung warm und kalt und die Vereinigung feucht und trocken. Es bleiben folglich vier Gegensätze bestehen, und dementsprechend seien nur vier Elemente möglich. Dem Gegensatz kalt und trocken entspricht die Erde, kalt und feucht das Wasser, warm und feucht die Luft, warm und trocken das Feuer. Durch die Mischung dieser vier Elemente entstehen nun nach Aristoteles sämtliche irdischen Stoffe. Ferner kommt jedem Element sein bestimmter Ort zu, gegen den es seine Bewegung beschleunigt. Für das Entstehen endlich gebe es drei Ursachen, den Stoff, als das dem Werden zugrunde Liegende, die Form als Zweck und die Bewegung als Veranlassung. Die den Stoff gestaltende Form ist nach Aristoteles für die Lebewesen mit dem, was wir Seele nennen, identisch. Die Artunterschiede der Seele sollen die Stufenreihe der Lebewesen bestimmen. Die niedrigste Seelenstufe ist die vegetative. Sie beschränkt sich auf die Nahrungsaufnahme und die Fortpflanzung und ist in den Pflanzen wirksam. Die Tierseele enthält außerdem Empfindung, zu welcher bei dem Menschen noch die Vernunft hinzutritt. Der Mensch selbst erscheint dem Aristoteles als Zweck und Mittelpunkt der ganzen Schöpfung. In ihm gelangt das göttliche Empfinden zum Bewußtsein [1]). Die Seele ist indessen für Aristoteles nichts für sich Bestehendes. Sondern sie ist an den Stoff gebunden, ohne selbst körperlich zu sein. Sie ist es, welche aus dem Stoff den Leib anfbaut und bewirkt, daß letzterer zweckmäßig eingerichtet ist.

Die Elemente sind bei Aristoteles nicht etwa Grundstoffe im heutigen Sinne. Andererseits verwirft er aber auch den Hylozoismus der jonischen Naturphilosophen („daß nur Eines, z. B. Luft, das Sämtliche sei, ist nicht möglich") [2]). Aristoteles ist der Ansicht, daß es „eine Substanz der sinnlich wahrnehmbaren Körper gibt, die aber immer mit einer Gegensätzlichkeit verbunden ist, aus welcher die sogenannten Elemente entstehen [3]).

---

1) Aristoteles, Politik, I. 8.

2) Aristoteles, Zwei Bücher über Entstehen und Vergehen. Übersetzung von Prantl. Leipzig, W. Engelmann. 1857. S. 451.

3) A. a. O. S. 437.

Während die Mathematik und die Astronomie schon vor dem Auftreten des Aristoteles die ersten Stufen ihrer Entwicklung zurückgelegt hatten und in zielbewußter Weise die Lösung bestimmter Aufgaben anstrebten, war das Gleiche bezüglich der beschreibenden Naturwissenschaften noch nicht der Fall. Zwar waren die Grundlagen auch auf diesem Gebiete wie auf demjenigen der Astronomie in der sich unmittelbar aufdrängenden Beobachtung gegeben. Dem Aristoteles und seiner Schule blieb indes die erste denkende Erfassung und die systematische Gestaltung der noch wenig zusammenhängenden naturgeschichtlichen Einzelkenntnisse vorbehalten.

Das wichtigste zoologische Werk des Aristoteles ist seine Tierkunde [1]. Es ist ein grundlegendes Werk und das bedeutendste zoologische Buch des Altertums. Es enthält nicht nur Beschreibungen der Tiere, sondern es geht auch auf den Bau und die Verrichtungen der Organe, sowie auf die Entwicklung und die Lebensweise ein. Eine kurze Betrachtung möge uns eine Probe von dem Wissen des Aristoteles und der Art, wie er seinen Gegenstand behandelt, bieten. Begonnen wird mit der Beschreibung des menschlichen Körpers. Zur Erforschung der inneren Organe mußte jedoch das Tier dienen, da man sich noch nicht an die Zergliederung menschlicher Leichen heranwagte. Die anatomischen Kenntnisse des Aristoteles sind infolgedessen noch gering.

Das Herz, von dem er sagt, es enthalte von allen Eingeweiden allein Blut, ist ihm auch allein das Organ, in dem das Blut bereitet wird [2]. Vom Herzen aus läßt er diese Flüssigkeit sich durch den ganzen Körper verbreiten, ohne jedoch damit die Vorstellung von einem Kreislauf zu verbinden [3]. Das Blut ist ihm

---

[1]) Aristoteles' Tierkunde, kritisch berichtigter Text mit deutscher Übersetzung, sachlicher und sprachlicher Erklärung und vollständigem Index von H. Aubert und Fr. Wimmer. 2 Bände. Mit 7 lithograph. Tafeln. gr. 8. Leipzig, Verlag von Wilh. Engelmann. 1868.

[2]) Aristoteles, Teile der Tiere, III, 4.

[3]) Als Probe für die Art, wie Aristoteles die anatomischen Verhältnisse betrachtet, möge folgende Stelle aus seiner Schrift über die Teile der Tiere dienen (Aristoteles, Vier Bücher über die Teile der Tiere. Griechisch und Deutsch; herausgegeben von Franzius. Leipzig, W. Engelmann, 1853):

„Da das Blut eine Flüssigkeit ist, so muß notwendig ein Gefäß da sein, für welchen Zweck die Natur die Adern bildete. Für diese muß notwendig ein einziger Anfang sein. Denn, wenn es sein kann ist einer besser als viele. Das Herz aber ist der Anfang der Adern, denn sie entspringen offenbar aus diesem, nicht aber gehen sie durch das Herz hindurch, und dessen Beschaffenheit als eines verwandten Teiles ist aderartig."

ferner der Träger der dem Menschen eingepflanzten Wärme. Die Aufgabe der Atmung soll darin bestehen, diese Wärme auf das richtige Maß herabzumindern. Man darf sich nicht wundern, daß die Anschauungen des Aristoteles noch soweit von den heute als richtig erkannten und jedermann geläufigen abweichen. Denn gerade die Erforschung der Vorgänge, die sich in den Lebewesen abspielen, hat den späteren Jahrhunderten die größten Schwierigkeiten gemacht, so daß wir selbst zurzeit noch kaum zu einem befriedigenden Einblick in den Zusammenhang dieser Vorgänge gelangt sind. Die Aufdeckung eines solchen Zusammenhanges ist nämlich vor allem von den Fortschritten der Chemie und der Physik abhängig gewesen, Wissenschaften, die zur Zeit des Aristoteles erst im Keime vorhanden waren. So konnte, um hier nur eins zu erwähnen, der Vorgang der Atmung und der Entstehung tierischer Wärme erst richtig gedeutet werden, nachdem man die Zusammensetzung und die Rolle der atmosphärischen Luft erkannt hatte. Und dies geschah erst gegen das Ende des 18. Jahrhunderts, an der Schwelle des letzten Abschnittes der Geschichte der Naturwissenschaften. Es ist Verdienst genug, daß Aristoteles die Fragen nach den Verrichtungen, sowie nach der Entwicklung der organischen Wesen[1]) gestellt und dadurch späteren Geschlechtern den Anlaß geboten hat, die Erforschung dieser Dinge weiter zu betreiben. So ist die Entwicklung des Hühnchens im Ei ein Problem, das schon Aristoteles beschäftigte. Die eingehendere Untersuchung wurde indes erst zweitausend Jahre später wieder aufgenommen und erst in neuester Zeit, auf Grund der Vervollkommnung aller Hilfsmittel zu einem gewissen Abschluß geführt.

Mit Recht mag es dagegen Verwunderung erregen, daß Aristoteles nicht nur die niederen, sondern selbst höher entwickelte Tiere durch Urzeugung entstehen ließ. Es begegnet uns auch hier wieder ein Problem, das wir durch den Verlauf der Jahrhunderte in seinen Wandlungen verfolgen werden, bis es endlich im neuesten Zeitalter seine Lösung gefunden hat. Zwar ist es begreiflich, wenn Aristoteles Läuse aus Fleisch und Wanzen aus tierischen Feuchtigkeiten herleitet. Man höre aber, welch sonderbare Vorstellungen er sich über die Entstehung der Aale gebildet hat: „Sie legen“, sagt er[2]), „keine Eier. Und man hat

[1]) Aristoteles, 5 Bücher von der Zeugung und Entwicklung der Tiere, übersetzt und erklärt von H. Aubert und Fr. Wimmer. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1860.

[2]) Nach einem von O. Lenz in seiner Zoologie der Griechen und Römer mitgeteilten Auszug. S. dort S. 519.

noch nie in ihnen einen der Fortpflanzung dienenden Teil entdecken können. Es gibt sumpfige Teiche, in denen sie wieder entstehen, wenn auch das Wasser und der Schlamm herausgeschafft sind, sobald diese Teiche wieder durch den Regen gefüllt werden. Die Aale gehen nämlich aus Regenwürmern hervor, die sich von selbst aus dem Schlamme bilden." Zur Entschuldigung mag es dem gegenüber dienen, daß die Fortpflanzung der Aale bis in die neueste Zeit hinein ein dunkles Gebiet der Zoologie gewesen ist.

Keineswegs nahm aber Aristoteles die Urzeugung für die niederen Tiere als den einzigen Weg der Entstehung an. So sagt er von den Insekten ausdrücklich, sie zeugten, entständen aber auch spontan. Die Urzeugung war ihm und späteren Zoologen ein Dogma, um aus der Verlegenheit, in die man häufig durch Unkenntnis der obwaltenden Verhältnisse geraten war, herauszukommen. Über den Vorgang der Entwicklung selbst läßt Aristoteles sich in seiner Schrift über die Zeugung und Entwicklung der Tiere mit folgenden zutreffenden Worten aus: „Entweder entstehen alle Teile des Tieres auf einmal; oder sie entstehen nacheinander wie die Maschen eines Netzes. Daß letzteres geschieht, ist deutlich. Denn man sieht, daß manche Teile schon vorhanden sind, andere aber noch nicht. Es ist unzweifelhaft, daß man sie nicht nur etwa ihrer Kleinheit wegen nicht sieht. Obgleich die Lunge nämlich einen größeren Umfang hat als das Herz, so zeigt sie sich doch später als dieses [1])."

Bezüglich der anatomischen Kenntnisse des Aristoteles sei hervorgehoben, daß er die schneckenförmige Gestalt des inneren Ohres und die Verbindung zwischen dem Gehörorgan und der Mundhöhle kannte. Vom Innern des Auges, sagt er, es bestehe aus einer Flüssigkeit, welche das Sehen vermittle. Um diese sei eine schwarze und außerhalb der letzteren eine weiße Haut vorhanden. Beim Gehirn unterscheidet er die stärkere, dem Schädel anliegende Haut von der schwächeren, welche das Gehirn unmittelbar umschließt [2]).

Auch die Drüsen der Verdauungsorgane hat Aristoteles im ganzen richtig beschrieben und sie sogar bei einigen Wirbellosen gekannt. Ferner soll er seine Schriften durch Zeichnungen erläutert haben und hierin vorbildlich gewesen sein. Andererseits

---

[1]) Lenz a. a. O. S. 137.

[2]) Zwischen der von Aristoteles erwähnten harten und weichen Haut (dura und pia mater) befindet sich noch die sehr zarte Spinnwebenhaut (Arachnoïdea).

wußte Aristoteles Nerven und Sehnen noch nicht scharf genug zu unterscheiden. Die Bedeutung des Fleisches war ihm noch nicht bekannt. Er führte vielmehr die Bewegungen der Glieder auf die Tätigkeit der Sehnen zurück und betrachtete das Fleisch als das Organ für die Empfindung.

Es sind etwa 500 Tierformen, die Aristoteles in den auf uns gelangten Schriften erwähnt; doch lassen sich diese Formen nicht sämtlich identifizieren. Es werden zwar mehrere Arten von Vierhändern unterschieden. Mit den anthropomorphen Affen war man zur Zeit des Aristoteles jedoch noch nicht bekannt[1]). Auch wußte man sehr wenig von den niederen Tieren. Doch bewältigt und beherrscht Aristoteles die ihm bekannten Formen — und das ist sein wesentlichstes Verdienst — indem er sie in ein der Natur entsprechendes, wissenschaftliches System gliedert, das erst durch Cuvier im Beginn des 19. Jahrhunderts eine wesentliche Verbesserung gefunden hat. Es erscheint deshalb gerechtfertigt, auf diesen ersten und auch gleich so wohlgelungenen Versuch eines natürlichen Systems der Tiere etwas näher einzugehen.

Zunächst teilte Aristoteles das gesamte Tierreich in Bluttiere und Blutlose. Ging er auch hierbei von der unrichtigen Annahme aus, daß die rote Farbe ein notwendiges Kennzeichen des Blutes sei, so decken sich doch tatsächlich seine beiden großen Gruppen, wie wir aus ihrer weiteren Einteilung erkennen, mit unseren heutigen Wirbeltieren und Wirbellosen. Die Bluttiere zerfallen bei Aristoteles in lebendig gebärende Vierfüßler (Säugetiere), Vögel, eierlegende Vierfüßler (unsere heutigen Klassen der Reptilien und Amphibien, zu denen er ganz richtig trotz des Fehlens der Gliedmaßen, wegen ihrer sonstigen Beschaffenheit, die Schlangen rechnet) und in die von den Fischen scharf abgesonderten Waltiere. Für letztere gibt er an, daß sie durch Lungen atmen und lebendig gebären. „Die lebendig gebärenden Vierfüßler", sagt Aristoteles, „sind fast alle dicht behaart. Sie sind ferner entweder vielzehig wie der Löwe, der Hund und der Panther, oder zweihufig wie Schaf, Ziege und Hirsch. Oder sie besitzen nur einen Huf wie das Pferd. Den Tieren, welche Hörner tragen, hat die Natur meist zwei Hufe verliehen. Ein Einhufer mit Hörnern ist uns niemals zu Gesicht gekommen. Auch im Gebiß weichen die Tiere untereinander und vom Menschen vielfach ab. Zähne besitzen alle lebendig gebärenden Vierfüßler.

1) S. Günther, Geschichte der antiken Naturwissenschaft. Handbuch der klassischen Altertumswissenschaft. Bd. V. 1. Abt. S. 100.

Und zwar haben sie in beiden Kiefern entweder zusammenhängende Zahnreihen oder unterbrochene. Allen Hörnertragenden fehlen nämlich die Vorderzähne im Oberkiefer. Doch gibt es auch Arten mit unvollkommenen Zahnreihen ohne Hörner, wie das Kamel. Manche haben Hauzähne, z. B. der Eber. Ferner gibt es Tiere mit Reißzähnen, wie der Löwe, Panther und Hund. Hauzähne und Hörner zugleich besitzt kein Tier. Auch kommen nicht Reißzähne neben Hauzähnen und Hörnern vor.“

Obgleich Aristoteles hier manche Mitteilungen und Verallgemeinerungen über die Zähne und den Bau der Füße bei den Säugetieren macht, gelangt er doch nicht etwa zur Aufstellung von Ordnungen oder Unterordnungen im heutigen Sinne. Bei den Vögeln indessen unterscheidet er die Ordnung der Raubvögel von den Ordnungen der Schwimm- und der Stelzvögel. Besonders gekennzeichnet wird die Gruppe der Vögel noch durch folgende Bemerkungen: „Sie allein unter allen Tieren sind zweibeinig wie der Mensch, sie haben weder Hände noch Vorderfüße, sondern Flügel. Das sind Organe, welche dieser Tierklasse eigentümlich sind. Alle haben mehrspaltige Füße. In der Regel sind die Zehen getrennt. Bei den Schwimmvögeln aber sind die gegliederten, deutlich gesonderten Zehen durch Schwimmhäute verbunden. Die Vögel, welche hoch fliegen, haben sämtlich vier Zehen, von denen meistens drei nach vorn und eine nach hinten gestellt sind. Einige haben zwei nach vorn und zwei nach hinten gerichtete Zehen.“

Für seine fünfte und letzte Gruppe, die Fische nämlich, hebt er das Vorhandensein von Kiemen und Flossen hervor [1]). Auch ist ihm bekannt, daß nicht nur die Waltiere, sondern auch gewisse Haie lebendige Junge zur Welt bringen. Ja, er zeigt sich mit Verhältnissen in der Entwicklung der Haie vertraut, welche erst in

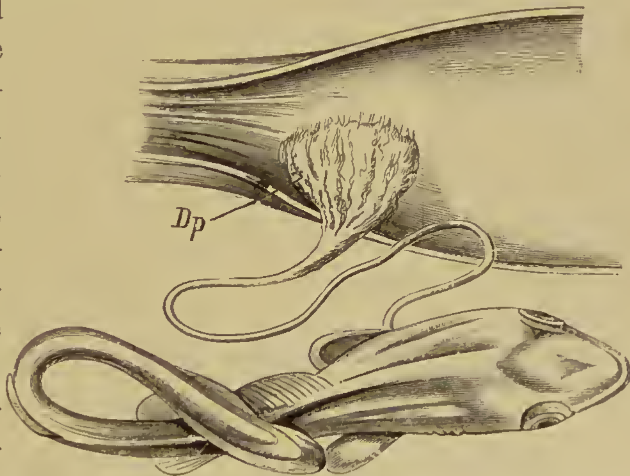


Abb. 12. Der Embryo des glatten Hais des Aristoteles. Dp, der Mutterkuchen in Verbindung mit dem Uterus [2]).

[1]) Er unterscheidet Knorpelfische (Haie) und Grätenfische.

[2]) Claus, Lehrbuch der Zoologie. 1883. S. 677.

neuerer Zeit ihre Bestätigung gefunden haben. So erzählt er, daß es unter den Haien eierlegende und lebendig gebärende gäbe, und unter den letzteren auch solche, bei denen der Fötus mit dem Uterus wie bei den Säugetieren durch einen Mutterkuchen verbunden sei (S. Abb. 12). Diese Tatsache wurde erst im 19. Jahrhundert durch Johannes Müller an Mustela laevis wieder entdeckt[1]).

Unter den Blutlosen (Wirbellosen) gelten ihm als die entwickeltsten die Kopffüßler (Tintenfische), mit deren Bau und Lebensweise er sich eingehend befaßt. „Sie besitzen, sagt er, Füße, die sich am Kopf befinden, einen Mantel, der das Innere umschließt, und Flossen rings um den Mantel. Es sind acht, mit Saugnäpfen versehene Füße vorhanden. Einige Arten, wie die Sepien, haben außerdem zwei lange Fangarme. Mit diesen ergreifen sie die Nahrung und führen sie zum Maule. Bei Sturm befestigen sie diese Arme wie Anker an einem Felsen und lassen sich so von den Wogen hin und hertreiben. Auf die Füße folgt bei allen der Kopf, in dessen Mitte sich das mit zwei Zähnen versehene Maul befindet. Darüber liegen die großen Augen, und zwischen diesen eine knorpelige Masse, welche das Gehirn einschließt."

Dann folgen die Krebse, von Aristoteles Weichschalige genannt. Die dritte Gruppe bilden die Kerbtiere. Aristoteles begreift darunter sämtliche Tiere mit geringeltem Körper, also nicht nur die Insekten, sondern auch die Spinnen, die Tausendfüßer und die Gliederwürmer. Er hebt hervor, daß der Körper aller Insekten in drei Abschnitte zerfällt, den Kopf, den Körperteil, welcher Magen und Darm enthält, und drittens den dazwischen liegenden Abschnitt, dem bei anderen Tieren Brust und Rücken entsprechen. „Außer den Augen", fährt Aristoteles fort, „haben die Insekten kein deutliches Sinnesorgan. Manche besitzen einen Stachel, der sich entweder innerhalb des Körpers befindet, wie bei den Bienen und Wespen, oder außerhalb, wie beim Skorpion[2]). Letzterer ist allein unter allen Insekten lang geschwänzt; ferner besitzt er Scheren. Einige Insekten haben über den Augen Fühler, z. B. die Schmetterlinge und die Käfer. Im Innern findet sich ein Darm, der in der

1) Vgl. J. Müller, Über den glatten Hai des Aristoteles. Abhandl. der Berliner Akademie. 1840.

2) Der Name Insekten, welcher heute die sechsfüßigen Arthropoden bezeichnet, wurde von Aristoteles in viel weiterem Sinne gebraucht; er rechnete auch die Spinnentiere, sowie die Tausendfüßler und Eingeweidewürmer, kurz alle Geschöpfe mit Einschnitten rings um den Körper, zu den Insekten.

Regel bis zum After gerade verläuft, mitunter aber auch gewunden ist".

Bei den Insekten fesseln Aristoteles besonders der Bau und die Lebensweise der Honigbiene. Er erwähnt, daß sie das Bienenbrot an den Schenkeln einträgt und den Honig in ihre Zellen speit. Er erzählt von dem Bau der Waben, den Maden und Puppen und kennt die Herkunft, sowie die Rolle, die das sogenannte Vorwachs besitzt, so daß wir vor Swammerdam, welcher durch die Anwendung des Mikroskops und durch die Befolgung der Grundsätze der neueren Naturforschung zu einem weit tieferen Einblick befähigt war, kaum eine gleich gute Schilderung dieses wichtigen Insektes antreffen.

Die vierte Gruppe, ausgezeichnet durch harte Schalen, die einen weichen ungegliederten Körper umschließen, bilden die Schnecken und die Muscheln, die von Aristoteles als Schaltiere zusammengefaßt werden. Der fünften und letzten Gruppe, den Seewalzen, Seesternen und Schwämmen, wird eine vermittelnde Stellung zwischen dem Tier- und Pflanzenreiche zugewiesen.

Bei seinem Bestreben, das gesamte Wissen seiner Zeit vom Standpunkte des Philosophen zu sammeln, zu prüfen und systematisch zu gliedern, konnte Aristoteles auch an der Pflanzenwelt nicht achtlos vorübergehen. Leider ist indessen seine diesem Gegenstande gewidmete „Theorie der Pflanzen" verloren gegangen. Was wir an Ansichten des Aristoteles über die Natur der Pflanzen kennen, sind vereinzelte, aber immerhin zahlreiche Äußerungen des Philosophen, die sich in seinen übrigen Werken zerstreut finden [1]). Von besonderem Interesse ist, was Aristoteles über die Verwandtschaft der Tiere mit den Pflanzen sagt [2]). Die Natur gehe allmählich vom Unbeseelten zum Beseelten über. Auf die unbeseelten Dinge läßt sie zunächst die Pflanzen folgen. Unter diesen unterscheide sich die eine von der anderen darin, daß sie teils mehr, teils weniger Anteil am Leben zeige. Vergleiche man die Pflanzen mit den leblosen Dingen, so seien erstere wie beseelt, dagegen erscheine die Pflanze im Vergleich zum Tiere wie unbeseelt. Und doch sei der Übergang zwischen Pflanze und Tier ununterbrochen. Denn bei einigen Wesen des Meeres könne man zweifeln, ob sie

[1]) Eine Sammlung dieser Fragmente aristotelischer Pflanzenkunde gab Wimmer heraus. Fr. Wimmer, phytologiae Aristotelicae fragmenta. Vratislav 1838. Eine Übersetzung dieser Fragmente findet sich in E. Meyer, Geschichte der Botanik, Bd. I. S. 94 u. f.

[2]) Histor. animal VIII. cap. 1.

Tiere oder Pflanzen seien. Auch über die Teilbarkeit der Pflanzen und der Tiere stellt Aristoteles Betrachtungen an[1]. „Nimmt man von einer Zahl", sagt er, „eine Zahl weg, so bleibt eine andere Zahl. Die Pflanzen dagegen und viele Tiere bleiben bestehen, wenn man sie teilt." Die niederen Tiere und die Pflanzen stimmen, wie Aristoteles richtig hervorhebt, eben darin überein, daß ihnen die Einheit der Organisation fehlt, infolgedessen abgetrennte Teile des Organismus fortleben und sich zu selbständigen Wesen entwickeln können[2]. Auch darin seien sie einander ähnlich, daß bei beiden der Hauptzweck die Fortpflanzung sei und alle Einrichtungen sich auf diesen Zweck zurückführen ließen.

Auch über die Ernährung der Pflanzen hat Aristoteles nachgedacht. Die Wurzeln nennt er ein Analogon des Mundes, da beide die Nahrung einnehmen[3]. Die Erde enthalte eine für die Pflanze zubereitete Nahrung, und diene ihr sozusagen als Bauch, während die Tiere gleichsam die Erde als Inhalt des Darms in sich trügen, aus dem sie, wie die Pflanzen mit den Wurzeln, mit etwas Ähnlichem die Nahrung aufnehmen müßten[4]. Wem fällt bei dieser originellen, im Grunde aber richtigen Auffassung des Philosophen nicht die so treffende Benennung der Darmzotten als innere Wurzeln des Tieres ein? Ein ähnliches Verhältnis, wie für die Ernährung von Tier und Pflanze, nimmt Aristoteles für die Entwicklung an. Er sagt nämlich: „Wie sich die Gewächse des Bodens bedienen, so bedienen sich die Embryonen des Uterus"[5].

Was die Entstehung anbetrifft, so wird auch für die Pflanzen angenommen, daß sie entweder aus Samen oder von selbst entständen. Letzteres geschehe, wenn die Erde oder Pflanzenteile faulten. Was endlich die Sexualität anlangt, so meint Aristoteles, bei den Pflanzen sei das Männliche und das Weibliche nicht getrennt; sie zeugten daher aus sich selbst. Das Gleiche finde gewissermaßen bei den Tieren statt. Denn wenn sie zeugen wollten, so werde sozusagen ein Tier aus zweien. Die Tiere seien somit gleichsam Pflanzen, in denen das Männliche und das Weibliche voneinander geschieden sei. Aus den zerstreuten Bemerkungen des Aristoteles erkennen wir somit, daß das Nachdenken über botanische Dinge rege geworden war und manche wertvolle Beob-

1) De anima, cap. 6.
2) De part. animal. 4, 5.
3) De animalibus II. cap. 1.
4) De part. animal II. cap. 3.
5) Politic. VII. cap. 16.

achtung und Verallgemeinerung vorlag. Der erste, dem wir ein zusammenhängendes Werk über die Pflanzen verdanken, ist denn auch ein Schüler des großen Philosophen, Theophrast. Dieser nimmt der Botanik gegenüber eine ähnliche Bedeutung ein, wie sie Aristoteles für die Zoologie besitzt.

Über das Leben des Theophrast sind wir besonders durch Diogenes Laertius und durch Plutarch unterrichtet. Doch sind seine Lebensumstände wenig bekannt und durch Sagen und Übertreibungen verdunkelt. Theophrast wurde 371 v. Chr. zu Eresos auf der Insel Lesbos geboren. Er widmete sich der Philosophie. Und zwar schloß er sich zuerst an die Atomisten (Leukipp), dann an Plato und schließlich an Aristoteles an. Theophrast nannte man ihn seiner Beredsamkeit wegen[1]).

Nach dem Tode des Aristoteles, dessen Lieblingsschüler und langjähriger Freund er war, übernahm Theophrast die Führung der von Aristoteles in Athen gegründeten Philosophenschule, die er zur höchsten Blüte brachte. Theophrast genoß in Athen das größte Ansehen. Sein Ruhm drang auch ins Ausland, so daß Ptolemäos der Lagide ihn nach Alexandrien zu ziehen suchte. Wie sehr man Theophrast in seinem Vaterlande schätzte, geht auch aus folgender Erzählung hervor. Theophrast wurde des Mangels an Religion beschuldigt. Man gab indessen dieser Klage nicht nur keine Folge, sondern es fehlte nicht viel, daß der Kläger selbst in den Anklagezustand gesetzt wurde[2]).

War Theophrast auch nicht an schöpferischer Kraft mit Aristoteles zu vergleichen[3]), so überragte er ihn durch den Umfang seiner naturwissenschaftlichen Einzelkenntnisse. Auf die Beobachtung zahlreicher Einzelfälle, wodurch man allein zur Bildung richtiger Begriffe gelangen könne, legte er den größten Wert. Wo Theophrast nur fremde Beobachtungen zu Gebote stehen, verhält er sich durchaus kritisch und macht aus etwaigem Zweifel kein

[1]) Diogenes Laert. 5, 38, 51.

Diogenes von Laerte schrieb „Zehn Bücher über das Leben, die Lehren und Gedenksprüche der in der Philosophie Wohlberühmten“.

Von Plutarch rührt eine Schrift her, die unter dem Titel „Über die Meinungen der Philosophen“ bekannt ist. Wahrscheinlich ist das Vorhandene nur ein Auszug einer Schrift des Plutarch.

Trotz ihrer Unvollkommenheiten sind die erwähnten Schriften wichtige Quellen, die über manches berichten, was anderweitig nicht mehr festgestellt werden kann.

[2]) Diogenes, 39, 37.

[3]) Zeller, H. d. Ph. Bd. II. Teil I. S. 643.

Hehl. Sein Fleiß war unermüdlich und begleitete ihn bis ins höchste Alter. Sterbend klagte er noch im Hinblick auf das Aufhören seiner wissenschaftlichen Tätigkeit über die Kürze des menschlichen Lebens[1]). Das Altertum pries auch seine Umgangsformen. Cicero läßt ihn sagen, die rauhe Tugend allein mache keineswegs die Glückseligkeit aus. Er galt ferner als einer der bedeutendsten Redner, der vortrefflich und wohlberechnet seine Worte mit seinen Gebärden und seinem Mienenspiel in Einklang zu bringen wußte.

Von einem ganz ungewöhnlichen Fleiße legt auch die Zahl seiner Schriften Zeugnis ab[2]). Leider sind die meisten verloren gegangen. Sie erstreckten sich auf Mathematik, Astronomie, Botanik, Minerolagie und alle Teile des von Aristoteles gegründeten philosophischen Systems. Theophrast starb 286 v. Chr. Er ist also 85 Jahre alt geworden. Seiner Schule soll er einen Pflanzengarten und eine Halle, in welcher der Unterricht stattfinden sollte, vermacht haben[3]).

Außer dem botanischen Hauptwerk, dessen 9 Bücher vollständig auf uns gekommen sind, und mit dessen Inhalt wir uns im nachfolgenden in der Hauptsache bekannt machen wollen, verfaßte Theophrast noch eine Schrift „Von den Ursachen der Pflanzen". Sie ist leider nur unvollständig vorhanden. Die Schrift von den Ursachen der Pflanzen (*περὶ φυτῶν αἰτίαι*) verhielt sich zur Geschichte der Pflanzen ähnlich wie die mehr philosophischen zu den beschreibenden Büchern, die Aristoteles über die Tierkunde verfaßt hatte[1]).

Vor Aristoteles hatte man sich den Gewächsen, soweit sie nicht dem unmittelbaren Unterhalt von Mensch und Tier dienten, vorzugsweise aus medizinischem Interesse zugewandt. Das Sammeln der Pflanzen und ihre Verarbeitung zu heilkräftigen Säften wurde berufsmäßig von den schon erwähnten Rhizotomen (Wurzelschneidern) betrieben. Es waren dies die Vorläufer unserer heutigen Pharmazeuten. Jetzt wandte sich das wissenschaftliche Interesse neben der Tierwelt auch dem Pflanzenreiche zu. Wenn wir von der verloren gegangenen Schrift des Aristoteles über die Theorie der Pflanzen absehen, lieferte Theophrast die erste, eingehende Be-

---

1) Cicero tuscul. quaest. 3. 28.

2) Diogenes führt 227 Titel an.

3) Zeller, Gesch. d. Philos. der Griechen. II. 2. S. 642.

4) Über die Schriften des Theophrast siehe auch W. Christ, Griechische Literaturgeschichte. Nördlingen 1889. S. 435 u. f.

arbeitung der den Griechen bekannten Gewächse unter Berücksichtigung ihrer Lebensbedingungen, sowie der allgemeinen Morphologie. Die Schrift, auf welche wir jetzt näher eingehen wollen, führt den Titel: Naturgeschichte der Gewächse[1]).

Was beim Lesen dieses Buches zunächst auffällt, ist das Fehlen genauer Beschreibungen, die erst später in immer höherem Grade als das nächstliegende Ziel der botanischen Wissenschaft erkannt wurden. Oft fehlt eine Beschreibung der zur Besprechung gelangenden Pflanze ganz, da Theophrast sie als den Lesern hinreichend bekannt voraussetzt. In anderen Fällen beschränkt er sich darauf, augenfällige Eigentümlichkeiten hervorzuheben, so daß es später oft schwer, ja manchmal unmöglich gewesen ist, selbst nachdem man die Flora Griechenlands genauer kennen gelernt, die Identität der einzelnen Pflanzen festzustellen. Als gegen den Ausgang des Mittelalters die Botanik eine Weiterentwicklung erfuhr, war man zunächst in der Vorstellung befangen, die Pflanzen, über welche die Alten, insbesondere der später zu erwähnende Dioskorides geschrieben, seien auch im westlichen Europa zu finden. Erst nachdem man sich lange in dieser Richtung abgemüht und nur in wenigen Fällen etwas erreicht hatte, weil man der geographischen Verbreitung der Gewächse noch nicht die gebührende Beachtung schenkte, ging man zur möglichst genauen Beschreibung der Pflanzen über. So entstanden die Kräuterbücher der ersten neueren Botaniker.

Die Schwierigkeit, die von den Alten beschriebenen Pflanzen zu identifizieren, wurde noch durch den Umstand vergrößert, daß sich die Flora der in Betracht kommenden Länder im Laufe der Jahrtausende durch Wanderungen, durch klimatische Änderungen und ganz besonders durch die Einwirkung des Menschen geändert hat. Auch war das den Griechen zur Zeit des Theophrast floristisch bekannt gewordene Gebiet ein sehr beträchtliches. War man doch durch die Züge Alexanders des Großen auch mit Persien, Baktrien und Indien bekannt geworden, während man schon vorher über die in Vorderasien und Ägypten vorkommenden Pflanzen vieles erfahren hatte[2]). Allerdings lernten die Griechen auf ihren

[1]) Theophrast, Naturgeschichte der Gewächse, übersetzt und erläutert von K. Sprengel. 1822. Die Hauptausgabe seiner Werke rührt von Wimmer her. Breslau und Leipzig 1842—1862.

[2]) Eine Untersuchung über die einigermaßen sicher zu bestimmenden Pflanzen des Theophrast findet sich in Sprengels Geschichte der Botanik. I. S. 58–90.

Eroberungszügen die Naturkörper zunächst mehr im Vorübergehen kennen und achteten fast nur auf das, was auf den fremden Märkten ihr Erstaunen hervorrief[1]).

Ein neues Licht haben die Untersuchungen Bretzls auf die botanischen Ergebnisse des Alexanderzuges geworfen[2]). Das griechische Heer wurde von Gelehrten begleitet. Ihre Aufzeichnungen bildeten einen Teil dessen, was man heute das „Generalstabswerk" über den indischen Feldzug nennen würde. Dieses Werk ist leider verloren, doch sind Auszüge in Theophrasts Geschichte der Pflanzen[3]) übergegangen. Von den fremden Vegetationsbildern, welche Theophrast genauer schildert und mit der Vegetation der Länder des östlichen Mittelmeeres vergleicht, ist vor allem die Mangroveformation des persischen Golfes zu nennen. Theophrast gibt eine genaue Beschreibung der eigenartigen Pflanzen jener Formation. Er schildert die Lebensweise der Mangrovegewächse, die auf Stelzenwurzeln weit über das Meeresufer hinauswachsen, so richtig, daß neuere Reisende, wie Schweinfurth, seine Angaben nur bestätigen konnten. Einen „Glanzpunkt" nennt Bretzl die Beschreibung, welche Theophrast vom indischen Feigenbaum gegeben, der mit seinen, von den Ästen her in die Erde eindringenden, Stützwurzeln einem Walde gleicht. Daß es sich bei den Stützen, welche die fast horizontal sich ausbreitenden Äste in den Boden hinabsenden, um eigentliche Wurzeln handelt, erkannte schon Theophrast, wie er auch das Bambusrohr für eine Schilfart hielt und das vom Rande her einreißende Blatt der Banane sehr zutreffend mit den Schwungfedern eines Vogels vergleicht. Bei Theophrast begegnen wir auch dem Begriff des gefiederten Blattes, das man bis dahin für einen Zweig gehalten hatte. Dadurch, daß die Griechen die Pflanzenwelt vom Mittelmeerbecken bis in die tropischen Gebiete Asiens kennen lernten, wurden sie nicht nur mit den Grundtatsachen der Pflanzengeographie, sondern auch schon mit einigen wichtigen pflanzengeographischen Gesetzen bekannt, so daß es nicht zutreffend ist, die Anfänge dieser Wissenschaft auf A. v. Humboldt zurückzuführen. Die Erscheinung, daß die Flora ihren

1) Strabo sagt von den Nachrichten der Griechen über Indien: Was sie sahen, erkannten sie nur auf den Feldzügen im Vorbeigehen. Buch 15. Ausgabe von Groskurd, Bd. III. S. 108.

2) H. Bretzl, Botanische Forschungen des Alexanderzuges. Mit 11 Abb. u. 4 Karten. Gedruckt mit Unterstützung der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Leipzig, B. G. Teubner. 1903. 412 Seiten.

3) *ἱστορίαι τῶν φυτῶν.*

Charakter mit der Erhebung des Bodens über das Meer ändert, hatten die Griechen schon in ihrer Heimat kennen gelernt. Sie hatten dort bemerkt, daß sich an die Mittelmeerflora mit ihren immergrünen Gewächsen zunächst eine Laubwaldregion, darüber Nadelholzwälder und noch höher hinauf eine Region anschloß, die wir heute als eine alpine bezeichnen würden. Die gleiche Erscheinung nahmen sie noch deutlicher wahr, als sie an den Fuß der Berge gelangten, die Indien vom Rumpf des asiatischen Kontinentes trennen. Dort herrschte noch die tropische Flora mit ihren Palmen und Bananen in reicher Fülle. Unmittelbar darüber erblickten die Griechen Pflanzen, die sie an diejenigen der Mittelmeerländer erinnerten, dann folgten wieder Laubhölzer, Nadelhölzer und alpine Pflanzen. Einen ähnlichen Wechsel der Flora nahmen sie wahr, als sie die Pflanzen nördlicher Landstriche mit denen südlicher verglichen. Dieser Vergleich drängte sich ihnen nicht nur in Europa, sondern auch in Asien auf. Auch hier fanden sie in den nördlicher gelegenen Teilen die mächtigen dunklen Nadelholzwaldungen wieder, die sie als charakteristisch für das mittlere Europa betrachtet hatten.

In Theophrasts „Geschichte der Pflanzen" überwiegt das praktische Interesse häufig das wissenschaftliche. Die Beschreibung gewisser technischer Verrichtungen, wie die Gewinnung von Holzkohle, Pech, Harz und Spezereien, ferner die Verwendung der Holzarten, insbesondere aber die Wirkung der Pflanzen auf den menschlichen Körper, nehmen dementsprechend einen breiten Raum ein. Aber auch von der geographischen Verbreitung, den Krankheiten, der Lebensdaner, dem Einfluß des Klimas, sowie der Ernährung der Pflanzen ist die Rede. Daß dabei zu einer Zeit, in der man kaum beobachten, geschweige denn mit Pflanzen experimentieren gelernt hatte, manche irrtümliche Ansicht ausgesprochen wird, ist leicht begreiflich. So führt Theophrast die Erscheinung, daß die Bäume keinen kräftigen Wuchs aufweisen, wenn sie dicht gedrängt stehen, sondern dünn und lang werden, nicht auf den Einfluß des Lichtes, sondern auf Mangel an Nahrung zurück. An Krankheiten der Pflanzen unterscheidet er den Wurmstich, den Rost des Getreides und den Honigtau. Letzteren leitet er aus einem zu großen Feuchtigkeitsgehalt der Pflanzen ab, während es sich in der Tat um Ausscheidungen von Blattläusen handelt. Als eine Wirkung des Klimas betrachtet Theophrast die Erscheinung, daß in heißen Ländern der jährliche Laubfall bei Pflanzen unterbleibt, die in den Mittelmeerländern ihr Laub im Winter ver-

lieren. Dies sei z. B. bei dem Feigenbaum und dem Weinstock der Fall[1]).

Als Ernährungsorgane werden nicht nur die Wurzeln, sondern auch die Blätter betrachtet. Die Ernährung soll auf beiden Flächen durch Einsaugung vor sich gehen. Das Wachstum der Blätter und das Ansetzen der Früchte stehen, wie Theophrast sehr richtig bemerkt, in solchem Verhältnis, daß, wenn der eine Vorgang stattfindet, der andere zurückgehalten wird[2]). Auch die Möglichkeit, daß sich die eine Pflanzenart in eine andere umwandele, ein häufig wiederkehrender Irrtum, wird bei Theophrast erörtert. So sagt er: „Die wilde Minze soll sich in Gartenminze umändern, auch soll sich der Weizen in Lolch verwandeln". Von der Sexualität der Pflanzen vermochte er sich ebensowenig wie das übrige Altertum eine klare Vorstellung zu machen. Doch erwähnt er, daß man bei den Dattelpalmen das Ansetzen von Früchten dadurch fördere, daß man die stauberzeugenden Zweige über die fruchttragenden hänge.

„Manche Bäume", sagt er, „werfen ihre Früchte vor der Reife ab, wogegen man auch Anstalten trifft. Bei den Datteln besteht das Hilfsmittel darin, daß man die männliche Blüte der weiblichen nähert, denn jene macht, daß die Früchte dauern und reif werden. Es geschieht dies aber auf folgende Weise: Blüht die männliche Pflanze, so schneidet man die Blütenscheide ab und schüttelt sie mit dem Staube auf die weibliche Frucht. Wird diese so behandelt, so dauert sie aus und fällt nicht ab". Anknüpfend an diese und ähnliche Beobachtungen der Alten begründete in der neueren Zeit Camerarius die Lehre von der Sexualität der Pflanzen.

Ein Verdienst erwarb sich Theophrast auch durch die begriffliche Bestimmung, sowie die Morphologie der wichtigsten Pflanzenorgane. Doch vermochte er es nicht, eine naturgemäße Einteilung des Pflanzenreiches zu schaffen und damit das zu leisten, was Aristoteles für die Zoologie getan. Er unterscheidet Bäume, Sträucher, Stauden und Kräuter und spricht innerhalb dieser vier Gruppen wieder von zahmen und wilden Pflanzen. So überschreibt er z. B. ein Kapitel: „Von den wilden Bäumen", während er ein anderes mit den Worten beginnt: „Jetzt soll von den Gewächsen der Flüsse, Sümpfe und Teiche die Rede sein". Immerhin werden bei seiner Einteilung der Kräuter mitunter natürliche Gruppen angedeutet. Endlich verdanken wir dem Theophrast auch eine Reihe wert-

[1]) Gesch. der Pflanzen, 1, 5.

[2]) Von den Ursachen der Pflanzen, 2, 14.

voller Mitteilungen über den Bau und die Entwicklung der Pflanzen. Sie erscheinen ihm als lebende Wesen, welche als Voraussetzungen des Lebens Wärme und Feuchtigkeit in sich bergen. Daher ist er auch bemüht, eine Ähnlichkeit im Bau der Pflanzen und der Tiere nachzuweisen. Als innere Teile der Pflanzen unterscheidet er Rinde, Holz und Mark. Diese Teile seien aus Fasern, Adern, Fleisch und Saft gebildet. Das Fleisch entspricht dem, was wir heute als Parenchym oder Grundgewebe bezeichnen. Die Fasern sind dagegen die Gefäßbündel. Theophrast bemerkt sogar, daß sie mitunter regelmäßig angeordnet, bei anderen Pflanzen, wie den Gräsern und Palmen, dagegen unregelmäßig im Fleisch (Grundgewebe) zerstreut seien.

Auch über die Entwicklung der Pflanzen finden sich bei Theophrast einige Beobachtungen. Er weist darauf hin, daß der Keim sowohl Wurzel als Stamm enthält[1]), und daß die Wurzel zuerst aus dem Samen hervorbricht. Darauf entwickle sich der Stamm, dessen erste Blätter durch einfachere Gestalt von den späteren abwichen. Treffend wird ferner bemerkt, daß das Winklige und die Gliederung mit dem Fortschreiten der Entwicklung zunehmen[2]). Daß uns die Botanik bei Theophrast sofort als eine ziemlich weit entwickelte Wissenschaft entgegentritt, darf uns nicht in Erstaunen setzen, denn ohne Zweifel konnte Theophrast auf Vorgänger fußen, die er zum Teil auch selbst erwähnt[3]). Neben Theophrast wären zwar noch einige Mitglieder der peripatetischen Schule zu nennen, die sich mit Botanik beschäftigt haben. Da sich aber nicht viel mehr als ihre Namen und die Titel ihrer Schriften erhielten, wollen wir uns mit dem weiteren Schicksal der botanischen Wissenschaft erst wieder befassen, wenn sie uns bei den Römern von neuem begegnen wird.

Wie für die Tiere so sahen die Griechen auch für die Pflanzen, als eine besondere Art der Vermehrung, die Urzeugung an. Man nahm sie nicht nur für kleinere Pflanzen, sondern mitunter selbst für Bäume in Anspruch. Theophrast war dieser Ansicht gegenüber indes schon skeptisch. Er suchte angebliche Fälle von Urzeugung auf die Verbreitung der Samen durch Regengüsse, Vögel, Überschwemmungen oder durch die Luft zurückzuführen. Auch darauf weist er hin, daß manche Samen ihrer geringen Größe wegen leicht

[1]) Gesch. d. Pflanzen, 8, 2.

[2]) O. Warburg, Berichte der Deutsch. bot. Gesellschaft XIX (1901). S. 153.

[3]) Ursache d. Pflanzen I. 5, 5.

übersehen werden. Die Fortpflanzung durch Samen erklärt er für die gewöhnliche. Der Pflanzensamen sei dem tierischen Ei zu vergleichen. Beide enthielten die erste Nahrung in sich. Daß aber Urzeugung insbesondere bei kleineren Pflanzen vorkomme, stellt er nicht in Abrede. Er nimmt vielmehr an, daß Pflanzen sowohl wie Tiere bei der Zersetzung von Stoffen unter dem Einfluß von Feuchtigkeit und Wärme entstehen können.

Auch die dritte der beschreibenden Naturwissenschaften, die Mineralogie, fand ihre erste Bearbeitung in demselben Zeitalter, in welchem die Zoologie und die Botanik ins Leben gerufen wurden. Dies geschah gleichfalls durch Theophrast, und zwar in seinem Werke „Über die Steine"[1]). Jedoch handelt es sich hier in noch höherem Grade wie in der Botanik um eine Zusammenstellung von chemischen und mineralogischen Einzelkenntnissen, in deren Besitz man durch die Ausübung hüttenmännischer Prozesse gelangt war. Bestanden doch z. B. in Attika die Silberhütten des Laurion seit den ältesten Zeiten. Die dortigen Bergwerke besaßen ausgedehnte Schächte und Stollen mit Holzzimmerung. Ihre reichen Erträgnisse ermöglichten es Athen, zur Abwehr der Perser Rüstungen von einem Umfange zu betreiben, wie sie sich ein solch kleiner Staat sonst schwerlich hätte auferlegen können. Es handelte sich am Laurion um silberhaltige Bleierze, aus denen man zunächst, wie es noch heute geschieht, durch Rösten und darauffolgendes Niederschmelzen das rohe Blei gewann. Ein der Treibarbeit entsprechendes Verfahren lieferte dann, infolge der Oxydation des Bleies zu Glätte, das Silber[2]).

Genauere Kenntnis über den Bergbau im Altertum hat man erhalten, seitdem man den Betrieb verlassener alter Bergwerke in Spanien und am Laurion wieder aufnahm. Es geschah dies um die Mitte des 19. Jahrhunderts. Am Laurion hat man zahlreiche Tagebaue und Stollen, sowie an 2000 Schächte wieder aufgedeckt. Man fand auch die Geräte, welche die Alten beim Bergbau benutzten, z. B. Grubenlampen, eiserne Hämmer, Meißel, Brechstangen usw. Die Schächte gehen bis über hundert Meter in die

---

1) *Περὶ λίθων.* Theophrasti Eresii Opera. Griechisch und lateinisch von F. Wimmer.

2) Böckh, Abhandlungen der Berliner Akademie. 1814/15. S. 104. Die von den Athenern aufgehäuften Schlacken enthalten noch 10% Blei und 0,004% Silber; sie werden neuerdings wieder auf diese beiden Metalle verarbeitet. (Siehe Dammer, Handbuch der chemischen Technologie. 1895. II. Band, S. 549.)

Tiefe. Ein weiteres Eindringen wird die Ansammlung von Grubenwasser verhindert haben. Auch in Ton geformte Nachbildungen, die sich auf den Betrieb beziehen, hat man ausgegraben. Diese archäologischen Funde ergänzen die erhaltene Literatur in solchem Maße, daß wir uns von dem bis in das 7. vorchristliche Jahrhundert zurückreichenden Bergbau und Hüttenbetrieb der Athener ein zutreffendes und deutliches Bild machen können[1]).

Theophrast hebt bei der Besprechung der Mineralien hervor, daß sie sich besonders in der Farbe und im Gewichte unterscheiden. Zu den Mineralien rechnet er auch die Korallen, die im Meere entständen. Ferner erwähnt er ein Mineral, das wie der Bernstein Holz, indessen auch Erz und Eisen anziehe. Theophrast nennt es Lynkurion. Es ist nicht aufgeklärt, welchen Stoff er damit gemeint hat. Manchen Mineralien wurden auch heilkräftige Wirkungen zugeschrieben. So wurde der Rauch von Gagat, einer sehr bituminösen Braunkohle, eingeatmet, um epileptische Anfälle zu bekämpfen. Malachitpulver diente als Mittel gegen gewisse Erkrankungen der Augen usw.[2]).

Wir haben uns in diesem Abschnitt insbesondere ein Bild von den Leistungen des Aristoteles und desjenigen, der vor allem auf dem Gebiete der Naturwissenschaften in seine Fußstapfen trat, des Theophrast, gemacht. Bevor wir zu dem uns nicht nur zeitlich, sondern auch nach seiner ganzen Geistesart näherstehenden Archimedes übergehen, sei noch ein Wort über die Bedeutung des Aristoteles gesagt. Sein Einfluß hat sich auf 2000 Jahre erstreckt, und jedes Zeitalter hat, wenn auch in sehr verschiedener Weise, zu ihm, wie zu der griechischen Philosophie und Naturwissenschaft überhaupt, Stellung nehmen müssen. Die Schätzung, welche sie gefunden haben, ist eine recht wechselnde gewesen, je nach dem Standpunkt, den die Beurteiler einnahmen. Während des größten Teiles des Mittelalters galt Aristoteles als unanfechtbare Autorität. Noch Dante erkennt ihn voll an und nennt ihn „il maestro di color che sanno“[3]). Der Ansturm, der sich zu Beginn der neueren Zeit

[1]) C. v. Ernst, Über den Bergbau im Laurion. Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der k. k. Bergakademien zu Leoben und Pribram. 1902. Die Abhandlung stützt sich auf das Gutachten Cordellas, der Jahrzehnte lang die Wiederaufnahme und den Betrieb der Bergwerke des Laurions leitete.

[2]) H. Fühner, Beiträge zur Geschichte der Edelsteinmedizin. Berichte der Deutschen pharmazeutischen Gesellschaft. 1901. S. 435 u. f. 1902. S. 86 u. f. Siehe auch Lenz, Mineralogie der alten Griechen und Römer. 1861.

[3]) Der Meister derjenigen, die Wissenschaft treiben.

gegen Aristoteles erhob, betraf weniger ihn selbst als seine mittelalterlichen Anhänger und Ausleger, die manchen eigenen Irrtum durch seine Autorität zu decken suchten.

Ein scharfer Gegensatz zu Aristoteles entstand erst mit dem immer konsequenter werdenden Bemühen, die Natur aus mechanischen Prinzipien zu erklären, unter Beseitigung des Zweckbegriffs, der in der aristotelischen Philosophie dasjenige ist, um das sich alles dreht. Aufs Schärfste verurteilt wurde demgemäß Aristoteles im Jahrhundert der Aufklärung, der Zeit der französischen Materialisten und des l'homme machine. Es gehörte damals zum guten Ton, von den nutzlosen Hirngespinsten des Aristoteles zu reden, ohne seine Schriften gelesen zu haben. Eine Ausnahme bildete damals Cuvier, der ihm für seine Leistungen auf zoologischem Gebiete geradezu Bewunderung zollte. Mit der Überwindung des reinen Materialismus durch das erneute Emporblühen der Philosophie stellte sich eine Reaktion ein. Es war vor allem Hegel, der den großen Stagiriten wieder anerkannte: „Aristoteles ist," sagt Hegel, „in die ganze Masse des realen Universums eingedrungen und hat ihre Zerstreuung dem Begriffe untergeordnet". Ziehen wir von diesem Ausspruch Hegels soviel ab, daß wir für die Tat das Wollen setzen, so ist die Bedeutung des Aristoteles richtig erfaßt. In ihm begegnet uns ein Mensch, der sich die Erklärung des Weltganzen und der Natur im einzelnen zum Ziele machte und diese Aufgabe in umfassender Weise zu lösen suchte. Ihn dabei an dem Maßstabe des modernen Naturforschers zu messen, wie es in England[1]) geschehen, ist nicht gerecht. Durch Aristoteles wurde zum ersten Male ein Lehrgebäude errichtet, das die Ergebnisse der Beobachtung und der Erfahrung, zwar unter allzu starker Hervorhebung bloßer Denkbegriffe, indes unter Vermeidung religiöser, mystischer und nationaler Vorurteile, umfaßt. In diesem allgemein wissenschaftlichen Grundzug liegt die Bedeutung und die treibende Kraft seiner Lehre. Das war es, was Aristoteles die Wirkung für alle Zeiten und auf alle Völker sicherte.

Ganz abgesehen von dieser allgemeinen Bedeutung des Aristoteles, wird man zugeben müssen, daß in seinen Werken eine Menge von Einzelkenntnissen zusammengestellt und gesichtet sind. Mit Recht nennen daher die Herausgeber[2]) der Tierkunde

---

1) J. Tyndall, Religion und Wissenschaft. Autorisierte Übersetzung. Hamburg 1874.

2) Aubert und Wimmer.

des Aristoteles dieses bedeutendste naturwissenschaftliche Werk des Altertums eine „Biologie der gesamten Tierwelt, gegründet auf eine große Menge von Spezialkenntnissen, belebt durch den großartigen Gedanken, alles tierische Leben als einen Teil des Weltalls in allen seinen unendlichen Modifikationen zu einem einheitlichen Gemälde zusammenzufassen, und erfüllt von der Weltanschauung, für die Gesetze des natürlichen Geschehens einen vernünftigen Endzweck vorauszusetzen“.

4. Archimedes.

Zwischen Aristoteles, dem Hauptrepräsentanten des vorigen Zeitabschnitts, und Archimedes, liegt ein Zeitraum von etwa hundert Jahren. Dieser Zeitraum ist geschichtlich dadurch von Bedeutung, daß seit dem Eroberungszuge Alexanders der Orient mit den Völkern des Mittelmeeres in die engste Fühlung kam, während gleichzeitig ein neues Reich, dasjenige der Römer, zunächst das westliche Mittelmeerbecken, später aber die gesamte alte Kulturwelt zu umfassen strebte. Eine ähnliche Expansivkraft entfaltete auf dem Gebiete der Kunst und der Wissenschaft das Griechentum, das überall, im fernen Orient, in Ägypten, in Italien, ja selbst an den Küsten des westlichen Mittelmeeres seine Stützpunkte fand. Griechentum und Römerherrschaft sollten dann im Verlaufe der nächsten Jahrhunderte die Bindemittel abgeben, welche die so verschiedenartigen Völker Südeuropas, Vorderasiens und Nordafrikas bis zu einem gewissen Grade zu einer staatlichen, kommerziellen und geistigen Gemeinschaft verband, einer Gemeinschaft, welche den Boden für die so überraschend schnelle, alles bezwingende Ausbreitung des Christentums bereiten half.

Überwog im vierten Jahrhundert v. Chr. noch der philosophierende, auf die Entwicklung von umfassenden Lehrsystemen gerichtete Grundzug des griechischen Geistes, so tritt uns in dem auf Alexander den Großen folgenden Zeitabschnitt mehr die Richtung auf das Empirische und Nützliche, in Verbindung mit einer raschen Entwicklung der Mathematik und einer Beschränkung der Spekulation auf ein bescheideneres Maß, entgegen. Neben den Forderungen des praktischen Lebens (Handel, Vermessungen usw.) waren es drei Probleme der reinen Wissenschaft, welche die Mathematik bei den Griechen schon vor Archimedes auf eine ungewöhnliche Höhe gebracht hatten. Es waren dies die Quadratur des Kreises, die Würfelverdoppelung und die Dreiteilung des Winkels. So führten die vergeblichen Versuche, den Kreis zu quadrieren, Hippokrates zur Auffindung des Satzes, der noch jetzt unter dem Namen der Lunulae (kleine Monde) Hippokratis bekannt ist. Hippo-

krates[1]) bewies mit Hilfe des erweiterten pythagoreischen Lehrsatzes, daß sich zwei von krummen Linien begrenzte Flächen auf ein aus geraden Linien gebildetes Flächenstück zurückführen läßt. Die Würfelverdoppelung oder das Delische Problem fordert, die Seite eines Würfels zu finden, der doppelt so groß ist wie ein gegebener Würfel. Anders ausgedrückt, wenn $x^3 = 2s^2$ gegeben ist, soll x durch Konstruktion gefunden werden. Das Bemühen, dies Problem zu lösen, wurde durch die Auffindung einer Anzahl neuer Kurven (Cissoide, Konchoide, Kegelschnitte) belohnt. Auch das Problem der Dreiteilung des Winkels führte zur Auffindung neuer, bestimmte Eigenschaften aufweisender und auf Grund derselben konstruierbarer, krummer Linien. Eine Zusammenfassung der mathematischen Kenntnisse der Griechen erfolgte durch Euklid von dem im nächsten Abschnitt die Rede sein wird.

Bevor wir uns mit dem weiteren Ausbau der reinen und der angewandten Mathematik durch Archimedes beschäftigen, wollen wir einen Blick auf seine Lebensverhältnisse werfen: Über Archimedes ist wenig Zuverlässiges bekannt. Er wurde um 287 v. Chr. in Syrakus geboren, gehört also in die für Sizilien so bewegte Zeit der grossen Entscheidungskämpfe, welche Rom und Karthago um die Weltherrschaft führten. Die Geschichtschreiber dieser Periode, Livius, Polybios und Plutarch, sind es auch, denen wir die meisten Nachrichten über Archimedes verdanken. Was diese und andere über ihn erzählen, setzt sich indessen zum großen Teil aus Anekdoten zusammen, mit denen das Altertum das Leben seiner berühmten Männer, insbesondere seiner hervorragenden Denker, auszuschmücken liebte. Archimedes war nach Plutarch[2]) ein Verwandter Hieros II, des Tyrannen von Syrakus. Er lebte, ohne ein öffentliches Amt zu bekleiden, ganz der Wissenschaft. Eine Zeitlang hielt er sich in Ägypten auf. Dort war nach dem Tode Alexanders des Großen in der alexandrinischen Schule eine Stätte hellenischer Weisheit emporgeblüht, die berufen war, in den nachfolgenden Jahrhunderten die Fackel der Wissenschaft hochzuhalten. In Ägypten zählte Archimedes zu den Schülern des Mathematikers Konon. Diesem soll Archimedes auch nach seiner Rückkehr nach Syrakus, wo er den größten Teil seines Lebens zubrachte, Schriften zur Durchsicht geschickt haben. Seine Beziehungen zu

[1]) Hippokrates stammte aus Chios. Er lebte in der zweiten Hälfte des 5. nachchristlichen Jahrhunderts in Athen.

[1]) Nach Cantor (Gesch. d. Math. I. 253) ist es wahrscheinlich, daß er von niederer Abkunft war.

den syrakusanischen Machthabern veranlaßten ihn, sein außerordentliches Geschick in mechanischen Dingen auf die Vervollkommnung der Schleuderwerkzeuge und anderer Kriegsgeräte zu verwenden. Die Alten schrieben Archimedes die Erfindung zahlreicher Maschinen zu. Unter diesen werden der Flaschenzug und die Archimedische Schraube genannt. Letztere findet noch heute in Ägypten zum Bewässern der dem Nil benachbarten Ländereien Verwendung. Bei manchen Angaben, insbesondere denjenigen, die sich auf die von Archimedes geleitete Verteidigung seiner Vaterstadt beziehen, ist es nicht leicht, Wahrheit und Irrtum voneinander zu scheiden. Archimedes dürfte z. B. wohl selbst die Wirkung der Brennspiegel besser gekannt haben als die späteren Schriftsteller, die ihm das Unmögliche zuschrieben, er



Abb. 13.
Vorrichtung zum Heben großer Lasten.

habe die Schiffe der Belagerer mit Brennspiegeln in Brand gesetzt. Es wird ferner erzählt, Hiero habe ihn aufgefordert, vermittelst einer geringen Kraft eine große Last zu bewegen. Dies habe Archimedes zur Erfindung des Flaschenzuges geführt, mit dem er dann vor den Augen des erstaunten Königs eine schwer beladene Triëre ohne Anstrengung an das Land zog. Vielleicht hat Archimedes auch zu diesem Zwecke die Schraube ohne Ende in Verbindung mit einer Zahnradübersetzung benutzt[1], ein Apparat, den uns vorstehende Abbildung vorführt.

Große Bewunderung erregte ferner eine Art Planetarium, das Archimedes konstruierte. Im Mittelpunkt befand sich die Erde.

---

1) W. Schmidt, Aus der antiken Mechanik (Jahrbuch für das klassische Altertum). Bd. 13 (1904). 329.

Die Abbildung (Tafel II, Fig. 17) ist der Heronausgabe von Schmidt entnommen (Op. II. 1 Fig. 62).

Mond, Sonne und Planeten wurden durch einen, wahrscheinlich hydraulisch betriebenen, Mechanismus um den Zentralkörper herumgeführt. Cicero erwähnt dieses Kunstwerk, das als Vorbild für die im Mittelalter (z. B. an der Uhr des Straßburger Münsters) entstandenen Planetarien diente[1]). Ausführlicher lauten die Berichte über die letzten Lebensjahre des Archimedes, da sie in die Zeit der Belagerung von Syrakus fallen. Hierbei hat Archimedes, den Nachrichten der Geschichtschreiber[2]) zufolge, eine wichtige Rolle gespielt und schließlich ein trauriges Ende gefunden. Auch bezüglich der über diese Begebenheit auf uns gelangten Nachrichten sind Wahrheit und Dichtung gemengt. Der zweite punische Krieg, der über das Schicksal Siziliens entscheiden sollte, hatte im Jahre 218 v. Chr. mit einem Siegeslauf Hannibals begonnen, wie ihn die Welt seit den Tagen Alexanders nicht gesehen. Bald jedoch wandte sich das Glück, und während Hannibal sich nur durch geschickte Züge in Italien zu halten wußte, brachten die Römer eine Stadt Siziliens nach der andern zu Fall, bis sich endlich die ganze Insel in ihren Händen befand. Am meisten Schwierigkeiten bereitete dem römischen Feldherrn Marcellus die Stadt Syrakus. Daß sie viele Monate der Belagerung zu trotzen vermochte, wird vor allem den Verteidigungsmaßregeln des Archimedes zugeschrieben. Wurfmaschinen von ganz hervorragender Wirkung und Treffsicherheit, die nach Plutarch Steinblöcke von Zentnerschwere auf große Entfernung schleuderten, schreckten die Stürmenden zurück. Dem Angriff der Flotte suchte man mit Feuerbränden zu begegnen. Spätere Berichterstatter haben daraus die erwähnte, völlig unglaubwürdige Erzählung gemacht, Archimedes habe die Schiffe der Belagerer mit Hilfe von Hohlspiegeln in Brand gesetzt.

Als endlich die Römer Syrakus einnahmen und die Soldaten, voll Wut über die erlittenen Mühsale und Verluste, ein furchtbares Gemetzel anstellten, zählte Archimedes zu den Opfern. Über sein Ende, das Marcellus sehr betrübt haben soll, lauten die Berichte verschieden. Am bekanntesten ist die Erzählung,

---

[1]) O. Spieß, Archimedes von Syrakus. Mitteilungen zur Geschichte der Mediz. u. Naturwiss. III. Bd. S. 230.

Siehe auch Cicero, De rep. I. 14 und die Abhandlung von F. Hultsch, Über den Himmelsglobus des Archimedes in Schlömilchs Zeitschr. XXII. H. A. 106—108.

[2]) Polybios, Geschichte. Übersetzt von Haakh. Stuttgart 1868. 8. Buch. Kapitel 5—9. Plutarchos: Marcellus 14—19.

Archimedes sei, in Nachdenken über ein mathematisches Problem versunken, von einem römischen Soldaten niedergestoßen worden. Seine letzten Worte sollen „Noli turbare circulos meos" gewesen sein. Das Grab des Gelehrten wurde mit einem Stein geschmückt, in welchen die von dem Zylinder eingeschlossene Kugel eingemeißelt war. So soll Archimedes es selbst gewünscht haben, ein Zeichen, welchen Wert er auf seine Entdeckung legte, daß der Inhalt der Kugel zum Inhalt des umschließenden Zylinders sich wie 2 : 3 verhält. Dieses Grabmal, das Marcellus errichten ließ, wurde später von Cicero in einem sehr vernachlässigten Zustande wieder aufgefunden und der Vergessenheit entrissen[1]).

Die Probleme, welche etwa hundert Jahre nach Aristoteles den Archimedes beschäftigten, betrafen insbesondere das Gebiet der Statik und wurden nach echt naturwissenschaftlichem Verfahren, d. h. gestützt auf Versuche und mathematische Ableitung und deshalb mit dem besten Erfolge, behandelt. Seine Werke sind daher als das hervorragendste Erzeugnis des griechischen Geistes auf exaktem Gebiete zu bezeichnen. Es scheint kein Zufall zu sein, daß diese Werke nicht in dem vorwiegend der Kunst und der Philosophie zugewandten Mutterlande, sondern in Großgriechenland entstanden sind, wo der Handel blühte und eine gewisse, die forschende Tätigkeit begünstigende Nüchternheit des Verstandes vorherrschte.

Die wissenschaftliche Bedeutung des Archimedes[2]) ist in gleicher Weise auf den Gebieten der reinen Mathematik und der

---

1) Cicero erzählt diese Begebenheit (Tusculanae disputationes V. 23 mit folgenden Worten: „Als ich in Sizilien Quästor war, fand ich das Grab des Archimedes, das die Syrakusaner selbst nicht kannten. Mir waren nämlich einige kleine Verse in der Erinnerung, die man auf dem Grabmal eingemeißelt hatte. Die Verse weisen darauf hin, daß sich an dem oberen Teile des Monumentes eine Kugel mit einem Zylinder befindet. Nun bemerkte ich unter den vielen Gräbern, die sich vor dem nach Agrigent führenden Tor befinden, eine kleine Säule, die nur wenig aus dem Gestrüpp hervorragte und auf der sich das Bild einer Kugel mit einem Zylinder befand. Sogleich sagte ich zu den Syrakusanern, von denen mich die vornehmsten begleiteten, dies sei das gesuchte Grabmal. Wir ließen den Platz mit Hacken erschließen und säubern. Darauf erschien auf der Vorderseite des Sockels jene Inschrift. Die vornehmste und einst so gelehrte Stadt Großgriechenlands besäße also keine Kenntnis von dem Grabe ihres größten Denkers, wenn nicht ein Fremder es ihren Bürgern gezeigt hätte.

2) Archimedes' von Syrakus vorhandene Werke. Aus dem Griechischen übersetzt und mit erläuternden und kritischen Anmerkungen begleitet von

Mechanik zu suchen. Außer dem soeben erwähnten, wichtigen Satze über den Inhalt der Kugel und des umschließenden Zylinders, deren Oberflächenverhältnis er gleichfalls auffand, lieferte Archimedes eine Arbeit über die Kreismessung, die eine Berechnung der Zahl π enthält. Diese Arbeit ist, sowohl nach ihrer Bedeutung für die Entwicklung der Geometrie als auch für die Geschichte der Rechenkunst, von Wichtigkeit. Sein Verfahren ist das in der elementaren Geometrie noch jetzt gelehrte. Ausgehend von dem Satze, daß der Umfang des Kreises kleiner als der Umfang des umschriebenen und größer als derjenige des eingeschriebenen regelmäßigen Vielecks ist, berechnet Archimedes als Grenzwerte für π die Zahlen 3,141 und 3,142. Es sind dies die Werte, die sich für den Umfang des ein- und umgeschriebenen regelmäßigen 96-Ecks ergeben. Das erwähnte Verfahren wird wohl als Exhaustionsverfahren bezeichnet und könnte auch die Integrationsmethode der alten Mathematik genannt werden. Aus dem Bestreben, bei derartigen Aufgaben die Grenzwerte beliebig nahe zu rücken, ohne dazu umständliche, zeitraubende Berechnungen nötig zu haben, ist im 17. Jahrhundert die Infinitesimalrechnung erwachsen.

Auch mit isoperimetrischen Problemen, d. h. Aufgaben, bei denen es sich um die Bestimmung größter oder kleinster Werte handelt, beschäftigte sich schon das Altertum. So war schon vor Aristoteles bekannt[1]), daß der Kreis unter allen Flächen gleichen Umfangs den größten Flächeninhalt und die Kugel unter allen Körpern von gleicher Oberfläche den größten Rauminhalt besitzt[1]). Das Exhaustionsverfahren wurde von den Alten nicht nur auf krummlinige Figuren, sondern auch auf Flächen und auf Raumgebilde angewandt. Das Verfahren lief stets darauf hinaus, den Unterschied zwischen der zu messenden Linie, Fläche oder Raumgröße und den diesen Formen sich nähernden, leicht zu berechnenden Hilfsgebilden immer kleiner zu machen. Man erhielt eine noch größere Sicherheit, wenn man zwei Hilfsgebilde, z. B. das ein- und umgeschriebene Polygon beim Kreise, wählte und auf diese Weise zwei Grenzwerte für die zu messende Größe ermittelte.

Ernst Nizze. Stralsund 1824. Eine neuere Archimedesausgabe rührt von Heiberg her. Sie erschien im Jahre 1880: J. L. Heiberg, Archimedis opera omnia cum comentariis Eutocii. Leipzig, bei B. G. Teubner.

Eutokios, der einen Teil der archimedischen Schriften kommentierte, lebte zur Zeit Justinians (um 550 n. Chr.).

[1]) Nach Simplicius. Siehe auch die Abhandlung von W. Schmidt über Isoperimetrie im Altertum (Bibl. math. 1901. S. 5).

Was den Inhalt des Kreises anbetrifft, so bewies Archimedes, daß er gleich demjenigen eines rechtwinkeligen Dreiecks ist, dessen eine Kathete gleich dem Halbmesser und dessen andere gleich dem Umfang des Kreises ist.

Die Behandluug ebener Figuren wurde von Archimedes jedoch über das Gebiet der elementaren Mathematik hinausgeführt, indem er den Inhalt der Parabel und der Ellipse berechnen lehrte und die Eigenschaften von Kurven höherer Ordnung, wie der Spiralen, aufwies. Mit Hilfe der soeben besprochenen Exhaustionsmethode wies Archimedes z. B. nach, daß das Parabelsegment $^4/_3$ eines Dreiecks von gleicher Grundlinie und Höhe beträgt. Für die Ellipse zeigte er, daß sich ihre Fläche zur Fläche eines mit der großen Achse als Durchmesser geschlagenen Kreises wie die kleine Achse zur großen Achse verhält usw. Die merkwürdigste Schrift über die Kurven ist sein Buch von den Schneckenlinien. Die nach ihm als archimedische Spirale bezeichnete Schneckenlinie definiert er mit folgenden Worten: „Wenn eine gerade Linie in einer Ebene um einen ihrer Endpunkte, der unbeweglich bleibt, mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich dreht, und wenn gleichzeitig in der bewegten Linie ein Punkt vom unbewegten Endpunkte aus sich gleichförmig bewegt, so beschreibt dieser Punkt eine Schneckenlinie". Eine derartige Verbindung von zwei bestimmt gekennzeichneten Bewegungen stellte eine nicht geringe Bereicherung der Wissenschaft dar[1]. Auch gelang es Archimedes, durch ein ähnliches Verfahren, wie er es beim Kreise und bei der Parabel anwandte, die Quadratur der Schneckenlinie zu finden. Sogar das Tangentenproblem vermochte er für diese Kurve zu lösen, indem er zeigte, wie die Berührungslinie an irgend einen ihrer Punkte gezogen werden kann.

Daß Archimedes sich schon einer Methode bediente, die in ihrem Wesen unserem heutigen Integrationsverfahren entsprach, läßt sich noch deutlicher als aus den hier besprochenen Werken, aus der vor kurzem durch Heiberg entdeckten Methodenlehre (Ephodion) ersehen[2]. Es hat den Anschein, als ob Archimedes die im Ephodion enthaltene Infinitesimalmethode gewissermaßen nur zu seinem Privatgebrauch entwickelt hätte, weil die Anwendung der Unendlichkeitsbegriffe bei den Mathematikern, welche die Einwände der Philo-

---

1) Cantor I. S. 262.

2) Heiberg entdeckte sie in einem in Konstantinopel aufbewahrten Palimpsest und veröffentlichte sie in der Zeitschrift „Hermes". Berlin 1907. S. 235 u. f.

sophen fürchteten, verpönt war. Als vollgültig wurde für die hier in Betracht kommenden Probleme nur das Exhaustionsverfahren angesehen. In dieses kleidete Archimedes, offenbar der herrschenden Schule zu Liebe, Sätze, die er zunächst ausgehend von der Mechanik oder mit Hilfe seiner Infinitesimalmethode gefunden hatte. Als Beispiel dafür verdient der Satz vom Zylinderhuf genannt zu werden [1]. Für diesen gibt Archimedes einen mechanischen Beweis, einen Beweis nach dem Exhaustionsverfahren und einen solchen mit Hilfe seiner jetzt bekannt gewordenen Infinitesimalmethode. Letztere bestand darin, daß er die Flächen auf Gerade und die Körper auf Flächen zurückführte, wie es unter den neueren Mathematikern zuerst Cavalieri getan. Erläutert wird die neue Methode unter anderem an dem Satz vom Flächeninhalt des Parabelsegments und an mehreren Sätzen über Volum- und Schwerpunktsbestimmungen.

Ein Buch des Archimedes über das Siebeneck im Kreise und ein anderes über die Berührung von Kreisen sind leider verloren gegangen. Von hervorragender Wichtigkeit sind die erhalten gebliebenen archimedischen Schriften über die Kugel und den Zylinder. Es wird darin bewiesen, daß die Kugeloberfläche dem Vierfachen ihres größten Kreises gleich ist ($O = 4\,r^2\,\pi$). Ferner wird die Oberfläche der Kalotte oder des Kugelabschnittes berechnet. Und endlich wird gezeigt, daß ein Zylinder, der zur Grundfläche einen größten Kreis der Kugel, zur Höhe aber den Durchmesser der Kugel hat, mit anderen Worten, daß ein der Kugel umschriebener Zylinder seinem Inhalt nach sich zur Kugel selbst wie 3 : 2 verhält. Die Oberfläche dieses Zylinders fand Archimedes gleich dem Anderthalbfachen der Kugeloberfläche. Die betreffende Figur hat nicht nur auf seinem Grabstein Platz gefunden. Sie erhielt sich auch auf Münzen der Stadt Syrakus.

Seine Untersuchungen über die Kugel führten Archimedes endlich noch auf die Rotationskörper, welche durch die Umdrehung von Kegelschnitten entstehen, seine Konoide und Sphäroide. Auch in diesen Fällen bediente er sich der Exhaustionsmethode, indem er die zu kubierenden Körper in Scheiben von gleicher Dicke zerlegte und die ein- und umgeschriebenen Zylinder summierte. Die erhaltenen Summen stellen Grenzwerte dar, die sich dem zu ermittelnden Rauminhalt um so mehr nähern, je geringer der Abstand der Schnitte ist.

[1] Heiberg a. a. O. S. 302.

Bei der Besprechung der Verdienste des Archimedes um die reine Mathematik sei ferner einer Schrift Erwähnung getan, die besonders in früherer Zeit viel gelesen wurde und auch heute noch Beachtung verdient. Es ist dies seine „Sandesrechnung“. Zum Verständnis der in dieser Schrift gelösten Aufgabe müssen wir vorausschicken, daß die Griechen etwas unserem heutigen Ziffernsystem Entsprechendes noch nicht besaßen. Die Zahlen wurden durch Buchstaben bezeichnet. Größere Zahlen zu schreiben, war daher sehr unbequem, weil man das Prinzip des Stellenwertes, das erst durch Vermittlung der Araber aus dem Orient nach Europa gelangte, noch nicht kannte und auch noch kein Zeichen für die Null besaß. Es ist erstaunlich, wie weit es die Alten trotzdem in der Arithmetik gebracht haben. Wagte sich Archimedes doch sogar an die geometrische Reihe 1 $^1/_4$ $^1/_{16}$ $^1/_{64}$ . . . . . . , deren Summe er gleich $^4/_3$ fand. Sie diente ihm bei der Berechnung der Fläche des Parabelabschnitts. Auch vermochte er es schon, schwierige Quadratwurzeln zu berechnen[1]).

In der Sandesrechnung[2]) wird gezeigt, daß sich jede, noch so große Menge durch eine Zahl ausdrücken läßt. Indem Archimedes die Abmessungen der Aristarchischen Fixsternsphäre zu Grunde legt, berechnet er, wieviel Sandkörner von bestimmter Größe darin Platz finden können. Die meisten Sternkundigen verstanden zur Zeit des Archimedes unter dem Ausdruck Welt eine Kugel, deren Zentrum der Mittelpunkt der Erde und deren Radius eine gerade Linie zwischen den Mittelpunkten von Erde und Sonne ist. In seiner Schrift wider die Sternkundigen, so erzählt uns Archimedes, suchte nun Aristarch von Samos zu beweisen, daß die Welt ein Vielfaches der oben bezeichneten Kugel sei. Er sei zu der Annahme gelangt, die Fixsterne samt der Sonne seien unbeweglich, die Erde aber werde in einer Kreislinie um die Sonne, die inmitten der Erdbahn stehe, herumgeführt. „Der Durchmesser der Fixsternkugel möge sich“, sagt Archimedes, „zu demjenigen der Welt (in dem zuerst erwähnten Sinne) verhalten, wie der letztere zum Durchmesser der Erde. Er behauptet dann, wenn es auch eine Sandkugel gäbe von der Größe dieser Aristarchischen Fixsternsphäre, so lasse sich doch eine Zahl angeben, deren Größe selbst die Menge der Körner in der gedachten Kugel übertreffe. Nach einigen Voraussetzungen über den Umfang der Erde,

1) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. I. 253.

2) Eine gekürzte Wiedergabe enthält Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher. Verlag von Wilhelm Engelmann. Leipzig 1908. S. 10.

das Größenverhältnis von Erde und Sonne, aus dem, nach Bestimmung des scheinbaren Sonnendurchmessers, die Entfernung der Sonne zu 10000 Erdhalbmessern ermittelt wird, berechnet Archimedes die Zahl der Sandkörner, die innerhalb der Fixsternsphäre Platz finden, auf 10^{63} oder 1000 Dezillionen.

An hervorragenden Mathematikern besaß das Altertum keinen Mangel. Wir brauchen nur Euklid und Apollonios zu nennen. Es gab aber niemanden bis in die neuere Periode der Geschichte der Wissenschaften, der ähnliche Leistungen auf dem Gebiete der Mechanik vollbracht hätte wie Archimedes. Letzterer muß als der Hauptbegründer dieser Wissenschaft bezeichnet werden. Es sind die wichtigsten Sätze vom Hebel vom Schwerpunkt und der Hydrostatik, die uns bei Archimedes, zum ersten Male klar ausgedrückt, begegnen. Die Hebelgesetze spricht Archimedes in folgenden Worten aus:

a) Gleich schwere Größen, in ungleichen Entfernungen wirkend, sind nicht im Gleichgewicht, sondern die in der größeren Entfernung wirkende sinkt.

b) Ungleich schwere Größen sind, bei gleichen Entfernungen, nicht im Gleichgewicht, sondern die schwerere wird sinken.

c) Wenn ungleich schwere Größen in ungleichen Entfernungen im Gleichgewicht sind, so befindet sich die schwerere in der kleineren Entfernung.

d) Ungleiche Gewichte stehen im Gleichgewicht, sobald sie ihren Entfernungen umgekehrt proportional sind.

An den letzten, das Hebelgesetz zum Ausdruck bringenden Satz, knüpft sich das Archimedes zugeschriebene Wort: „Gib mir einen Ort, wo ich mich hinstellen kann, und ich will die Erde bewegen[1]“. Die Schwerpunktsbestimmungen dehnt Archimedes im zweiten Teile der Abhandlung vom Gleichgewicht[2] sogar auf das Parabelsegment aus, nachdem er zuvor die Quadratur der Parabel gelehrt hat. In den Büchern, die von den schwimmenden Körpern handeln, leitet er aus den Grundeigenschaften der Flüssigkeiten, nämlich der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teilchen und der Druckfortpflanzung, eine Reihe von Sätzen ab, von denen die wichtigsten folgendermaßen lauten:

a) Die Oberfläche einer jeden zusammenhängenden Flüssigkeit im Zustande der Ruhe ist sphärisch und ihr Mittelpunkt fällt mit dem Mittelpunkt der Erde zusammen.

[1]) *δός μοι ποῦ στῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν* (Pappus VIII, 11 ed. Hultsch).

[2]) Archimedes Werke. Ausgabe von Nizze. Seite 26 ff.

b) Feste Körper, die bei gleichem Rauminhalt einerlei Gewicht mit einer Flüssigkeit haben, sinken, in diese eingetaucht, so weit ein, daß nichts von ihnen über die Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt.

c) Jeder feste Körper, der leichter ist als eine Flüssigkeit und in diese eingetaucht wird, sinkt so tief, daß die Masse der Flüssigkeit, welche dem eingesunkenen Teil an Volumen gleich ist, ebenso viel wiegt, wie der ganze Körper.

d) Wenn Körper, die leichter sind als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht werden, so erheben sie sich wieder mit einer Kraft, welche gleich ist dem Gewichte des dem Körper gleichen Volumens Flüssigkeit, vermindert um das Gewicht des Körpers selbst.

e) Feste Körper, die bei gleichem Rauminhalt schwerer als eine Flüssigkeit sind und in diese eingetaucht werden, sinken, so lange sie noch tiefer kommen können, und werden in der Flüssigkeit um so viel leichter, wie das Gewicht einer Masse Flüssigkeit von der Größe des eingetauchten Körpers beträgt.

Das zuletzt erwähnte Gesetz, das archimedische Prinzip, ist für die Mechanik der Flüssigkeiten von derselben fundamentalen Bedeutung wie das Hebelgesetz für die Mechanik der festen Körper[1]). Auf das hydrostatische Prinzip soll Archimedes nach der Erzählung des Vitruv[2]) durch einen besonderen Anlaß gekommen sein. Danach hatte Hiero aus einer abgewogenen Menge Gold einen Kranz anfertigen lassen. Als man ihm nun hinterbrachte, daß ein Teil des Goldes unterschlagen und durch Silber ersetzt worden sei, wurde Archimedes zu Rate gezogen, um den Betrug nachzuweisen. „Dieser, eifrig damit beschäftigt", fährt Vitruv fort", kam zufällig in ein Bad. Als er dort in die gefüllte Wanne stieg, bemerkte er, daß das Wasser in gleichem Maße austrat, in welchem er seinen Körper in die Wanne niederließ. Sobald er auf den Grund dieser Erscheinung gekommen war, verweilte er nicht länger, sondern sprang, von Freude getrieben, aus dem Bad und rief, nackend seinem Hause zulaufend, mit lauter Stimme: *Εὕρηκα! εὕρηκα!* (Ich habe es gefunden!)".

Die Lösung des von Hiero gestellten Problems, der sogenannten Kronenrechnung, erzählt Vitruv mit folgenden Worten: „Dann soll

---

1) Die erwähnten hydrostatischen Grundgesetze finden sich in Archimedes' erstem Buch von den schwimmenden Körpern. Siehe die Archimedesausgabe von Nizze. S. 225—228.

2) Vitruvius, de architectura IX. Übersetzt von V. Reber. Stuttgart 1865.

Archimedes, von jener Entdeckung ausgehend, zwei Klumpen von demselben Gewicht, das der Kranz besaß, den einen von Gold, den andern von Silber hergestellt haben. Hierauf füllte er ein weites Gefäß bis zum obersten Rande mit Wasser und senkte dann den Silberklumpen hinein, worauf das Wasser in gleichem Maße ausfloß, wie der Klumpen in das Gefäß getaucht wurde. Nachdem er den Klumpen wieder herausgenommen hatte, füllte er das Wasser um so viel wieder auf, als es weniger geworden war, und maß dabei die zugegebene Menge. Daraus ergab sich, welches Gewicht Silber einem bestimmten Rauminhalt Wasser entspricht. Nachdem er dies erforscht hatte, senkte er den Goldklumpen in das volle Gefäß und füllte das verdrängte Wasser vermittelst eines Hohlmaßes nach. Es ergab sich, daß diesmal von dem Wasser um soviel weniger abgeflossen war, wie der Goldklumpen einen minder großen Rauminhalt besaß als ein Silberklumpen von gleichem Gewicht. Nachdem er hierauf das Gefäß abermals gefüllt und den Kranz selbst in das Wasser gesenkt hatte, fand er, daß mehr Wasser bei dem Kranze als bei dem gleichschweren Goldklumpen abfloß, und entzifferte aus dem, was mehr bei dem Kranze abfloß, die Beimischung an Silber und machte so die Unterschlagung offenbar".

Im weiteren Verlaufe seiner Abhandlung über das Schwimmen untersucht Archimedes die Stabilität gewisser schwimmender Körper, wie des Kugelabschnitts und des parabolischen Konoids, wobei es ihm offenbar mehr auf eine Betätigung seines mathematischen Geschicks als auf eine Bereicherung der Mechanik ankam.

Auch mit Schwerpunktsbestimmungen befaßte sich Archimedes. So war ihm bekannt, daß der Punkt, in welchem sich zwei Seitenhalbierende treffen, der Schwerpunkt des Dreiecks ist. Überhaupt erweisen sich die mathematischen Hilfsmittel des Archimedes den ihn beschäftigenden mechanischen Problemen gegenüber als der überlegene Teil, während in der neueren Periode mitunter das umgekehrte Verhältnis obwaltete, so daß der von Leibniz herrührende Ausspruch: „Wer in die Werke des Archimedes eindringt, wird die Entdeckungen der Neueren weniger bewundern" wohl gerechtfertigt erscheint.

5. Die erste Blüte der alexandrinischen Akademie.

Wir haben uns in den ersten Abschnitten diejenige Periode in ihren Grundzügen vergegenwärtigt, in der die Keime der Naturwissenschaften entstanden, eine Periode, welche in der zusammenfassenden, systematisierenden Tätigkeit des Aristoteles ihren Höhepunkt erreichte. Frühzeitig traten uns geistige Regungen in den ionischen Kolonien entgegen, wo die Berührung des Griechentums mit der älteren, orientalischen Kultur besonders innig war. Zu Hauptsitzen der Wissenschaft wurden darauf Athen und die blühenden Städte Unteritaliens, dort durch Aristoteles und seine Schule, hier durch die Pythagoreer und Archimedes.

Wie Alexander durch gewaltige Machtentfaltung die Welt, so hatte Aristoteles das gesamte Wissen seiner Zeit zu umspannen gesucht. Zu einer dauernden Beherrschung der übrigen Völker waren die Griechen indessen nicht imstande. Mit dem Tode des großen Eroberers zerfiel auch sein Reich. Anders gestalteten sich die Dinge auf dem Gebiete der Wissenschaft. Hier kann wohl von einer selbst das Altertum überdauernden Herrschaft der Griechen die Rede sein. Sie wurden die Lehrer der alten Völker, während Rom die Rolle der Weltbeherrscherin zufiel.

Bei den Griechen hatte die persönliche Eigenart eine bisher unerreichte Bedeutung erlangt, doch war die Schaffenskraft dieses Volkes nicht mehr die frühere, nachdem es seine politische Selbständigkeit verloren hatte. Zwar machte sich diese Schwächung mehr auf dem Gebiete der Kunst, vor allem auf dem der Dichtkunst, und weniger auf dem Gebiete der Wissenschaften bemerkbar. Doch zeigte sich hier eine andere eigenartige Erscheinung. Während des nationalen und wirtschaftlichen Niederganges, der im Mutterlande selbst, gegen den Beginn unserer Zeitrechnung eintrat, wurde nämlich das gelehrte Griechentum kosmopolitisch. Der Hauptsitz griechischer Weisheit wurde gleichzeitig von Athen nach Alexandrien verlegt, welches durch günstige Lage, seinen Reichtum, sowie durch das geistige Interesse, das die ägyptischen Herrscher bekundeten, besonders geeignet war, die weitere Pflege der Wissenschaften zu übernehmen.

Die Herrschaft über Ägypten war nach dem Tode Alexanders (323 v. Chr.) in die Hände des Ptolemäos Lagi übergegangen. Dieser Fürst, dessen Geschlecht den ägyptischen Thron inne hatte, bis im Jahre 30 v. Chr. das Land römische Provinz wurde, zog viele griechische Gelehrte, insbesondere aus Athen, an seinen Hof. Er wurde dadurch der Begründer der alexandrinischen Akademie, die berufen war, die Wissenschaft durch eine Reihe von Jahrhunderten zu fördern und sie für die nachfolgenden Zeiten zu erhalten. Die äußeren Einrichtungen für jene gelehrte Körperschaft fanden ihre Vollendung durch Ptolemäos Philadelphos. Dieser errichtete ein prächtiges Gebäude, welches den Gelehrten Wohnungen und Räume zur Ausübung ihrer Tätigkeit bot. Auch gründete er die berühmte alexandrinische Bibliothek.

Der dritte Ptolemäos, welcher den Beinamen Euergetes führte (247—222 v. Chr.) hat der Bibliothek den Bücherschatz hinzugefügt, den einst Aristoteles und Theophrast besaßen [1]). In späteren Zeiten umfaßte die große Bibliothek des alexandrinischen Museums etwa 400000 Bände. Dazu kam noch eine zweite Büchersammlung im Serapeion, die bei der Belagerung Alexandriens durch Cäsar teilweise zerstört, indes später durch Einverleibung der pergamenischen Bibliothek um 200000 Rollen bereichert wurde. Fast sämtliche Gelehrte der alten Zeit, von denen jetzt noch die Rede sein wird, gehörten entweder der alexandrinischen Akademie an; oder sie haben mit ihr in mehr oder weniger enger Fühlung gestanden. Im allgemeinen ist das Wirken dieser Männer indes nicht mehr grundlegend, sondern auf die Erhaltung und die Fortentwicklung aller, während des Altertums gewonnenen Ansätze gerichtet gewesen. Ihre Arbeiten betrafen dementsprechend nicht nur die Mathematik und die Naturwissenschaften. Sondern das ganze Gebiet des damaligen Wissens, von der Philosophie und anderen Gebieten des reinen Denkens bis zu der Beschäftigung mit den konkretesten Dingen, gehörte zu ihrem Bereich. Häufig beschränkten sie sich auf bloßes Kommentieren der vorhandenen Schriften, wie es bezüglich der Zoologie und der Botanik der Fall war. Wo aber das deduktive Verfahren Anwendung finden konnte, wie auf dem Gebiete der reinen Mathematik, fand eine Fortentwicklung der übermittelten Keime statt. Auch einige Teilgebiete der Physik erfuhren eine namhafte Förderung. Vor allem gilt dies von der Physik der Gase. In der späteren alexandrinischen eit

[1]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. I. S. 223. Leipzig 1880.

begegnen uns endlich die Anfänge der Alchemie und somit die Wurzeln der chemischen Wissenschaft.

Als Mathematiker sind unter den Mitgliedern der alexandrinischen Akademie, besonders Euklid, Appollonios und Diophant zu nennen. Als Astronomen wirkten Hipparch und Ptolemäos, während die Physik besonders durch Ktesibios und Heron gefördert wurde.

Zu den frühesten Mitgliedern der alexandrinischen Schule gehört Euklid, dessen Name eng mit der Geschichte der Mathematik verbunden ist, einer Wissenschaft, die nicht etwa erst in der neueren Zeit, sondern auch schon im Altertum in hohem Grade das Emporblühen der Naturwissenschaften bedingt hat. Die Lebensumstände Euklids sind wenig bekannt. Bezüglich seines Geburtsortes, sowie seines Studienganges schwanken die Angaben[1]). Sicher ist, daß Euklid zu Beginn der Ptolemäerzeit, also um 300 v. Chr. in Alexandrien gelebt hat. Dem Ptolemäos Lagi gegenüber, welcher das mathematische Studium erleichtert zu sehen wünschte, soll er den bekannten Ausspruch: „Es gibt keinen Königsweg zur Mathematik!“ getan haben. Unter den auf uns gekommenen Werken Euklids nehmen die „Elemente“ den ersten Platz ein. Sie wurden wegen ihrer Vollständigkeit und ihrer strengen Beweisführung in solchem Grade als mustergültig anerkannt, daß sie bis in die neueste Zeit hinein sehr oft dem Anfangsunterricht zugrunde gelegt wurden. In seine „Elemente“ hat Euklid das damals bekannte mathematische Wissen aufgenommen und es, wo dies bis dahin noch nicht geschehen war, auf strenge Beweise gestützt. Das Werk umfaßt die Geometrie der Ebene und des Raumes und geht auch auf die Lehre von den Zahlen, als der Grundlage allen Messens, ein.

Eine genauere Inhaltsangabe der 13 Bücher, in welche die „Elemente“ Euklids zerfallen, findet sich bei Cantor (Gesch. d. Mathematik Bd. I. S. 221—252)[2]). Das erste Buch handelt von den Linien, Dreiecken und Parallelogrammen. Den Abschluß bildet der pythagoreische Lehrsatz. Das zweite Buch gipfelt in der Aufgabe, für jede gegebene, gradlinige Figur ein gleichgroßes Quadrat zu zeichnen. Im folgenden Buch wird dann die Lehre

---

1) Euklid ist oft mit einem Zeitgenossen Platons, Euklid von Megara, verwechselt worden.

2) Vgl. auch Cantor, Euklid und sein Jahrhundert (Leipzig 1867). Eine neuere Ausgabe sämtlicher Werke Euklids rührt von Heiberg und Menge her (Leipzig 1883—1896).

vom Kreise behandelt. Das vierte handelt von den ein- und umschriebenen Vielecken. Die Konstruktion des Fünfecks macht die Anwendung des goldenen Schnitts erforderlich. Das sechste Buch ist dadurch besonders interessant, daß uns darin die erste Lösung einer Maximum-Aufgabe begegnet. Es wird nämlich gezeigt, daß $x\,(a-x)$ seinen größten Wert erhält, wenn $x = \frac{a}{2}$ wird.

Im 7., 8. und 9. Buche findet sich die Lehre von den Zahlen. Begonnen wird mit teilerfremden Zahlen und solchen, die ein gemeinsames Maß besitzen. Die Auffindung geschieht wie heute durch fortgesetzte Teilung des letztmaligen Divisors durch den erhaltenen Rest. Ferner werden die Proportionen und die Primzahlen untersucht und z. B. bewiesen, daß es unendlich viele Primzahlen gibt. Dann lehrt Euklid die Summierung der geometrischen Reihe und befaßt sich mit Untersuchungen über irrationale Zahlen. Das 12. Buch handelt von der Pyramide, dem Kegel, dem Zylinder und der Kugel. Euklid läßt den Zylinder durch Drehung eines Rechtecks um eine feststehende Seite und den Kegel, sowie die Kugel durch eine entsprechende Drehung eines Dreiecks beziehungsweise eines Halbkreises entstehen. Er erwähnt zwar, daß sich Kugeln wie die Kuben ihrer Durchmesser verhalten, den Inhalt der Kugel vermochte jedoch erst Archimedes zu bestimmen. Auch findet sich bei Euklid schon die Bemerkung, daß man durch den schrägen Schnitt eines Zylinders oder eines Kegels eine wie ein Schild aussehende Kurve (die Ellipse) erhalte[1]).

Das 13. Buch endlich handelt von den Polyedern, die sich aus regelmäßigen Vielecken bilden lassen. Es schließt mit der Bemerkung, daß es nur fünf regelmäßige Polyeder geben könne, nämlich das Tetraeder, das Oktaeder und das Ikosaeder, die von Dreiecken begrenzt sind, den Würfel und das von Fünfecken eingeschlossene Dodekaeder[2]). Die Klarheit und die strenge Form der Beweisführung, die Euklid geschaffen, sind den späteren griechischen Mathematikern eigen geblieben. Doch fehlt ihnen noch der Sinn für eine allgemeinere Fassung der Probleme. Soviel Fälle bezüglich der Lage von Linien in einer Aufgabe möglich sind, soviel Probleme waren auch für die griechische Mathematik vorhanden[3]). Daher sehen wir oft ihre hervorragendsten Schöpfer

[1]) Heiberg, Euklidstudien. S. 88.

[2]) Siehe die merkwürdige Anwendung, die später Kepler von den fünf regelmäßigen Körpern zur Begründung einer astronomischen Lehre machte.

[3]) H. Hankel, Die Entwicklung der Mathematik in den letzten Jahrhunderten.

sämtliche, mitunter sehr zahlreichen Fälle eines Problems erledigen, ohne durch eine Erweiterung der Begriffe zu allgemeineren Sätzen zu gelangen. Daß der neueren Mathematik in dieser Hinsicht gelang, was der griechischen versagt blieb, liegt indessen daran, daß erst in der viel später entstehenden Verknüpfung der Geometrie mit der Algebra ein Mittel zur allgemeineren Lösung mathematischer Aufgaben gewonnen wurde.

Trefflich wird die Bedeutung der Euklidischen „Elemente" durch folgende Worte gekennzeichnet: „Was der Alexandriner Euklid um 300 vor Beginn unserer Zeitrechnung schrieb, ist auch heute in Form und Inhalt der eiserne Bestand der Schulmathematik. Nur wenig Zusätze sind dem euklidischen System eingegliedert worden. Stolzer als ein Denkmal von Stein, schärfer und reiner in der Linienführung als irgend ein Kunstwerk, hat es sich der Jetztzeit erhalten. Was der junge Grieche durchdenken, lernen und üben mußte, das arbeitet mit gleicher Andacht heute der strebsame Schüler durch [1]).

Euklid schrieb auch über die Kegelschnitte. Doch hat sich um die Begründung dieses Gegenstandes der hervorragendste Nachfolger Euklids unter den alexandrinischen Mathematikern, Apollonios von Pergä, um 200 v. Chr. das größte Verdienst erworben. Apollonios zeigte, wie diese, Ellipse, Parabel und Hyperbel genannten, Kurven auf der Oberfläche eines Kegels entstehen, wenn durch letzteren Ebenen gelegt werden. Auch das schwierige Gebiet der Asymptoten, die sich den Ästen der Hyperbel nähern, ohne sie zu schneiden, hat Apollonios begründet. Es geschah dies in seinen acht Büchern über die Kegelschnitte [2]), ein Werk, das bei den Zeitgenossen und den späteren Generationen die größte Bewunderung erregte, wenn auch von einigen Verkleinerern dem Apollonios mit Unrecht vorgeworfen wurde, daß er sich zu sehr auf die von Euklid und Archimedes geschaffenen, indes verloren gegangenen Vorarbeiten über diesen Gegenstand

[1]) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik II. S. 3.

[2]) Des Apollonios Schrift über die Kegelschnitte wurde 1861 in deutscher Bearbeitung von H. Balsam herausgegeben. Die in der Ursprache erhaltenen Schriften gab Heiberg heraus (Leipzig 1891—1893). Das Werk über die Kegelschnitte umfaßt 8 Bücher. Die ersten vier sind in der Ursprache, Buch 5—7 in arabischer Übersetzung erhalten. Das achte dagegen ist verloren gegangen. Eine gute Bearbeitung rührt von dem englischen Astronomen Halley her (1710), der das Werk unter Beifügung des griechischen Textes, soweit er vorhanden war, ins Lateinische übersetzte und verloren gegangene Teile zu rekonstruieren suchte.

gestützt habe[1]). Besteht doch eine grundlegende Neuerung des Apollonios schon darin, daß er sich nicht wie seine Vorgänger auf den geraden Kegel beschränkte, sondern nachwies, daß alle Schnitte auch an dem schiefen Kegel hervorgebracht werden können. Auch war er der erste, welcher an den Kegelschnitten die Mehrzahl derjenigen Eigenschaften nachwies, die man heute aus den Gleichungen dieser Kurven ableitet. Der Inhalt seines Werkes ist der Hauptsache nach folgender. Zunächst wird der Kegel als die Oberfläche definiert, welche durch eine Linie entsteht, wenn man sie in einer Kreisperipherie herumführt, während diese Linie zugleich durch einen festen, außerhalb der Ebene des Kreises liegenden Punkt geht. Jeder Schnitt, welcher durch den festen Punkt geht, erzeugt ein Dreieck. Liegt in der Schnittebene auch die Verbindungsgrade zwischen dem Mittelpunkt des Kreises und dem festen Punkt, welcher die Spitze des Kegels bildet, so nennt man das entstandene Dreieck, weil es jene Verbindungsgrade oder die Achse enthält, ein Achsendreieck. Neue Schnittebenen liefern dann, je nach ihrer Richtung, die verschiedenen Kegelschnittkurven auf der Oberfläche des Kegels. Es werden sodann Betrachtungen über konjugierte Durchmesser, über die Tangente an irgend einen Punkt des Kegelschnitts, sowie über die Asymptoten der Hyperbel angestellt. Eingehend wird auch von denjenigen Punkten gehandelt, die wir heute als die Brennpunkte der Kegelschnitte bezeichnen. Es wird der wichtige Satz über die Gleichheit der Winkel, welche die Normallinie mit den beiden Brennstrahlen des Berührungspunktes bildet, bewiesen, sowie auch der Satz von der Konstanz der Summe, beziehungsweise der Differenz der Brennstrahlen. Die betreffenden Abschnitte des Werkes enthalten also fast sämtliche grundlegenden Sätze der Lehre von den Kegelschnitten.

Auf dem Satz, daß die Summe der Brennstrahlen gleich der großen Achse ist ($r + r' = 2a$), beruht bekanntlich die so gebräuchliche Fadenkonstruktion der Ellipse. Dies Verfahren findet sich jedoch noch nicht bei Apollonios, sondern kam erst weit später auf. Hinsichtlich der Hyperbel sei bemerkt, daß man vor Apollonios die Zusammensetzung der Kurve aus zwei Ästen nicht kannte, sondern die Untersuchungen immer nur an einem Ast anstellte. Apollonios selbst führte den zweiten Ast noch unter einem besonderen Namen auf. Die Quadratur der Hyperbel

[1]) Die ersten Ansätze zur Erforschung der Kegelschnitte finden sich schon bei dem im 4. Jahrh. v. Chr. lebenden Menächmos.

gelang den alten Mathematikern nicht. Sie erfolgte erst, als im 17. Jahrhundert neuere, die höhere Mathematik ausmachende Methoden gefunden waren.

Den Höhepunkt des Werkes bildet das Buch, das von größten und kleinsten Werten handelt, die in Verbindung mit den Kegelschnitten auftreten[1]). Insbesondere sind es Untersuchungen über die längsten und kürzesten Linien, die von irgend einem Punkte der Ebene an einen Kegelschnitt gezogen werden können. Infinitesimalbetrachtungen, die sich schon bei Euklid und Archimedes finden, vermochten die Alten noch nicht zu einer allgemeinen Methode zu erweitern. Die alte Mathematik hat vielmehr in den Werken des Archimedes und des Apollonios das erreicht, was ohne den Besitz der Infinitesimalmethode und des analytischen Kalkuls, die erst im 16. und 17. Jahrhundert zu allgemeinerer Anwendung gelangten, zu erreichen möglich war[2]). Mit der Lehre von den Kegelschnitten wurde für die spätere Entwicklung der Astronomie und der Mechanik eine wichtige Grundlage geschaffen. Das Gleiche gilt auch von der Trigonometrie, die aus den Bedürfnissen der Astronomie entsprang und von den späteren Alexandrinern begründet wurde. Wie wir später sehen werden, konnte Aristarch, als er den Sonnenabstand aus gegebenen Stücken eines Dreiecks ohne die Hilfsmittel der Trigonometrie berechnete, die gesuchte Größe nur auf umständlichem Wege durch Näherungswerte bestimmen. Durch die bedeutenden Fortschritte der Mathematik wurden vor allem die Physik, die Astronomie und die mathematische Geographie gefördert.

Die ältesten Ansichten über den Schall und über das Licht haben wir bei den Pythagoreern und bei Aristoteles kennen gelernt. Den Alexandrinern, welche ja besonders zur Zusammenfassung des Wissens neigten, verdanken wir die erste systematische Bearbeitung der Optik. Diese Bearbeitung wird dem Euklides zugeschrieben. Sie erfolgte in zwei Büchern, der „Optik“ und der „Katoptrik“, und ist wohl der erste Versuch, die Geometrie, unter Benutzung des Satzes von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes und des Reflexionsgesetzes, auf die Erklärung der scheinbaren Größe, der Gestalt, der Spiegelung und anderer optischen Erscheinungen an-

---

[1]) Das 5. Buch.

[2]) Daß Archimedes bei Volum- und Flächenbestimmungen sich schon einer dem Verfahren Cavalieris entsprechenden Infinitesimalmethode bediente, und zwar neben den üblichen Beweisverfahren, hat die Entdeckung des „Ephodion“ bewiesen (S. S. 124).

zuwenden[1]. Von Interesse ist der Satz[2], daß „von Hohlspiegeln, welche gegen die Sonne gehalten werden, Feuer erzeugt wird“. Doch wird irrtümlich behauptet, die Entzündung erfolge im Krümmungsmittelpunkt.

Euklid sucht dies geometrisch durch folgende Figur[3] darzutun und bemerkt zu seiner Konstruktion: „Alle Strahlen, die von der Sonne (Δ E Z) aus durch das Zentrum Θ des Spiegels (A B Γ) gehen, fallen in das Zentrum Θ zurück. Durch diese Strahlen wird daher im Zentrum die Sonnenwärme gesammelt und infolgedessen ein dort befindlicher Körper entzündet.“ Die Annahme, daß die Sonnenstrahlen parallel in den Hohlspiegel fallen, hätte Euklid zur Auffindung des richtigen Verhältnisses leiten müssen.

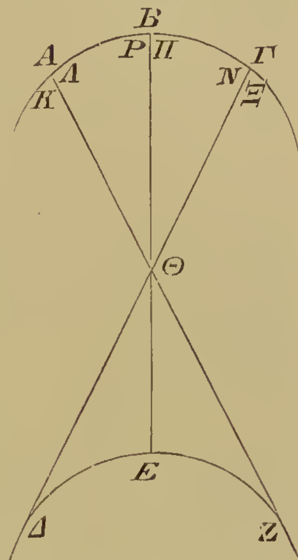
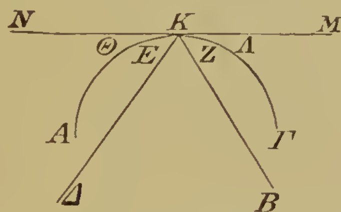


Abb. 14. Das Verhalten des Hohlspiegels nach Euklid [4].

Die Spiegelung an Konkav- und Konvexspiegeln wird von Euklid dahin erläutert, daß an ihnen, wie an ebenen Spiegeln, die Strahlen unter gleichen Winkeln zurückgeworfen werden. Zur Erläuterung dient folgende Abbildung[5]. Auch mit einem der bekanntesten Versuche über die Brechung des Lichtes war Euklid schon bekannt. Er



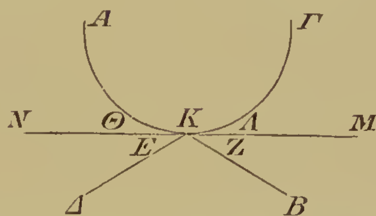


Abb. 15. Die Spiegelung an einem Konkav- (links) und an einem Konvex-Spiegel (rechts) nach der Darstellung Euklids.

berichtet darüber mit folgenden Worten[6]: „Legt man einen Gegenstand auf den Boden eines Gefäßes und schiebt letzteres so weit

[1]) Euklids Optik und Katoptrik wurde 1557 zu Paris griechisch und lateinisch herausgegeben. Eine neuere Ausgabe von Gregory erschien im Jahre 1703. Die Hauptausgabe rührt von Heiberg und Menge her. Bibl. Teubn. 1883.

[2]) 30. Theorem der Katoptrik Euklids.

[3]) Euklids Optik und Katoptrik findet sich im 7. Bande der Gesamtausgabe von Heiberg und Menge.

[4]) Gesamtausgabe Bd. 7. S. 343.

[5]) Gesamtausgabe Bd. 7.

[6]) 7. Erfahrungssatz der Katoptrik.

zurück, daß der Gegenstand eben verschwindet, so wird dieser wieder sichtbar, wenn wir Wasser in das Gefäß gießen".

Wie die Geometrie von gewissen Grundsätzen ausgeht, die sich auf wenige Axiome zurückführen lassen, so geht auch die Optik Euklids von einer Anzahl — es sind acht — Grunderfahrungen aus, aus denen Euklid seine Theoreme dann durch geometrische Konstruktion ableitet. Die wichtigsten der von Euklid hervorgehobenen optischen Grundtatsachen sind die folgenden: Die Lichtstrahlen sind gerade Linien. Die von den Strahlen eingeschlossene Figur ist ein Kegel, dessen Spitze im Auge liegt, während der Grundfläche dieses Kegels die Umgrenzung des gesehenen Gegenstandes entspricht. Unter größerem Winkel gesehene Gegenstände erscheinen größer als unter kleinerem Winkel gesehene. Oder, die scheinbare Größe eines Gegenstandes hängt von dem Sehwinkel ab. Auch in der Katoptrik wird von bestimmten Erfahrungssätzen — es sind deren 7 — ausgegangen und daraus etwa 30 Theoreme abgeleitet. Höchstwahrscheinlich sind die optischen Schriften Euklids in sehr verdorbener Gestalt auf uns gekommen. Sie waren indes trotz mancher Mängel und Unrichtigkeiten bis zur Zeit Keplers, der die Optik um ein Bedeutendes förderte, allgemein im Gebrauch.

Auch mit akustischen Problemen hat man sich in Alexandrien befaßt. Hatten die Pythagoreer die Erscheinung der Konsonanz und Dissonanz von Tönen einfach als Tatsache hingenommen, so finden wir bei Euklid zum ersten Male das Bestreben, sich von der Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung Rechenschaft zu geben. Dissonanz ist für ihn die Unfähigkeit der Töne sich zu mischen, wodurch der Klang für das Gehör rauh werde, während konsonierende Töne sich zu mischen vermöchten. Euklid kommt damit vorahnend der später gegebenen Erklärung nahe [1]).

Als Astronom und Geograph hat unter den älteren alexandrinischen Gelehrten Eratosthenes Bedeutendes geleistet. Eratosthenes wurde 275 v. Chr. in Kyrene geboren. Ptolemäus III Euergetes berief ihn nach Alexandrien und ernannte ihn zum Bibliothekar der großen alexandrinischen Bibliothek. Des Eratosthenes' Hauptwerk war seine „Erdbeschreibung", das erste wissenschaftliche Werk über Geographie, das indes nur aus Fragmenten bei Strabon bekannt ist [2]). Es zerfiel in drei Bücher.

1) Von Smith und Helmholtz.

2) Siehe Bernhardy, Eratosthenica, Berlin 1822, eine Sammlung von Bruchstücken der Schriften des Eratosthenes. Eratosthenes starb um 194.

Das erste handelte von der physikalischen, das zweite von der mathematischen Geographie, während das dritte die Chorographie, d. h. die Beschreibung der einzelnen Länder enthielt. Außerdem hat Eratosthenes auch auf den Gebieten der Astronomie Hervorragendes geleistet. Vorhanden ist noch ein Brief, in dem er sich mit dem berühmten delischen Problem der Verdoppelung des Würfels beschäftigt. Auch eine Regel zur Auffindung der Primzahlen rührt von ihm her. Im Jahre 220 v. Chr. soll Eratosthenes in Alexandrien Armillen aufgestellt und damit den Abstand der Wendekreise zu $^{11}/_{83}$ des Kreisumfanges, das sind 47,7 Bogengrade, ermittelt haben.

Nachdem man erkannt, daß die Erde die Gestalt einer Kugel besitzt, lag der Gedanke nahe, die Größe dieser Kugel zu bestimmen. Der Ruhm, den richtigen Weg zu einer solchen Messung eingeschlagen und auf ihm ein, im Verhältnis zu den vorhandenen Mitteln annähernd richtiges, Ergebnis gefunden zu haben, gebührt gleichfalls dem Eratosthenes[1]).

Bei größerer Ausdehnung der Reisen mußte es den Alten auffallen, daß die täglichen Kreise, welche bekannte Sterne beschreiben nicht überall die gleiche Neigung zur Ebene des Horizontes besitzen. Insbesondere konnte ihnen dies nicht lange bezüglich der Sonne verborgen bleiben. So wußte Eratosthenes, daß dies Gestirn zur Zeit der Sommersonnenwende im südlichen Ägypten mittags durch den Zenith geht, während es in Alexandrien an diesem Tage einen südlich vom Zenith gelegenen Punkt durchläuft. Infolgedessen zeigte das Gnomon an dem Mittag jenes Tages in Syene[2]) keinen Schatten. Anknüpfend an diese, ihm bekannte Tatsache, ging Eratosthenes bei der Lösung seiner Aufgabe von einigen Voraussetzungen aus, die zwar nicht ganz zutreffend sind, der Wahrheit aber doch so nahe kommen, daß bei dem nur rohen Verfahren, um das es sich hier handelt, das Ergebnis dadurch nicht wesentlich beeinflußt wurde. Zunächst war dies die Annahme, daß die Erde eine vollkommene Kugel sei. Ferner, daß die genannten Städte auf demselben Meridian gelegen

---

v. Chr. Ferner H. Berger, die geographischen Fragmente des Eratosthenes. Leipzig 1880.

[1]) Siehe auch Günther, „Die Erdmessung des Eratosthenes“ in der Deutschen Rundschau für Geographie und Statistik. III. Band.

[2]) Am ersten Nilkatarakt, fast unter dem nördlichen Wendekreis gelegen. (Das heutige Assuan.)

seien, während sie in Wahrheit einen Längenunterschied von mehreren Graden[1]) aufweisen.

In A (Abb. 16) befindet sich das Instrument, welches die Alten bei der Bestimmung der Sonnenhöhe gewöhnlich benutzten. Es war dies eine halbkugelige Höhlung, aus deren Mitte sich ein Gnomon (G C) erhob. Dieses Werkzeug wurde so angebracht, daß der Gnomon senkrecht zum Horizonte stand, also die Verlängerung des Erdradius bildete. Der Winkel E D A (Abb. 17) ließ sich auf einer Gradeinteilung ablesen. Er war gleich dem zu messenden Bogen A B des Meridians (siehe Abb. 17). Eratosthenes fand nun E D A gleich $^1/_{50}$ des Kreisumfanges oder gleich 7° 12′. Er schätzte ferner die Strecke Syene-Alexandrien auf 5000 Stadien. Genauere Landesvermessungen gab es nämlich

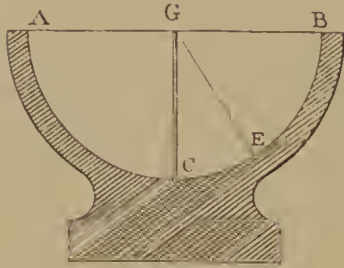


Abb. 16. Das zur Messung der Sonnenhöhe dienende Instrument der Alten[2]).

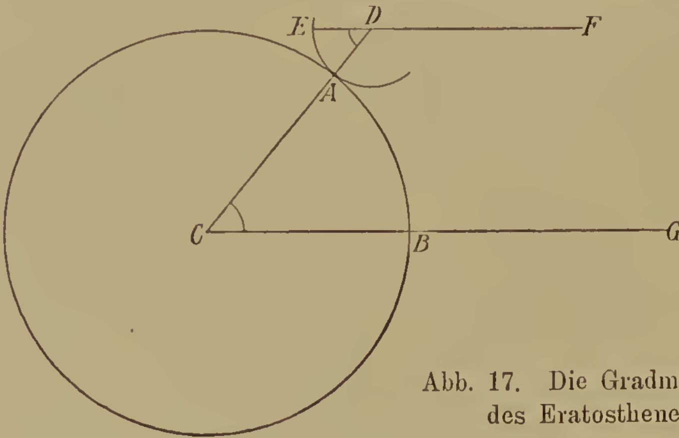


Abb. 17. Die Gradmessung des Eratosthenes.

nur für das untere Ägypten, so daß Eratosthenes auf die Angabe von Reisenden angewiesen war, welche die Entfernungen in Tagesmärschen aufgezeichnet hatten[3]). Der Umfang der Erde ergab sich somit gleich 5000 × 50 = 250 000 Stadien, eine Größe, die sich in heutigem Maße auf etwa 6000 geographische Meilen beläuft, während der wahre Wert 5400 Meilen beträgt[4]). Diese

[1]) Alexandrien liegt um 3° 14′ westlich von Syëne.

[2]) Schaubach, Geschichte der griechischen Astronomie. Tab. III. Fig. 2.

[3]) S. Cantor I. 283.

[4]) Näheres siehe bei Lepsius, Das Stadium und die Gradmessung des Eratosthenes auf Grundlage der ägyptischen Maße, in der Zeitschrift für ägyptische Sprache und Altertumskunde, 1877, 1. Heft, S. 3—8. Nach Lepsius kann es keinem Zweifel unterliegen, daß das Stadium des Eratosthenes eine Länge von 180 Metern besaß. A. a. O. S. 7. Dies war die Länge des griechischen Stadiums. Das ägyptische Stadium belief sich auf 179 Meter.

wissenschaftliche Tat des Eratosthenes erregte die Bewunderung des Altertums, das nur in den besprochenen Messungen des Aristarch etwas Ähnliches aufzuweisen hat.

Das Nächstliegende wäre nun wohl gewesen, die Gradmessung auf einem nicht lediglich abgeschätzten, sondern genauer gemessenen Teil des Meridians zu wiederholen. Eine solche Untersuchung gelangte jedoch erst viel später zur Ausführung.

Daß schon während der ersten Periode der alexandrinischen Akademie die Astronomie zur Wissenschaft heranreifte, indem sie sich von der Spekulation der messenden Beobachtung zuwandte, ersehen wir vor allem aus den im dritten vorchristlichen Jahrhundert entstandenen Arbeiten der Alexandriner Aristill und Timocharis, sowie des mit der alexandrinischen Schule in enger Fühlung stehenden Aristarch von Samos. Dem letzteren gebührt auch das Verdienst, zuerst die heliozentrische Theorie in voller Klarheit entwickelt zu haben. Daran, daß die Erde im Mittelpunkt der Welt ruhe, haben zuerst die Pythagoreer gezweifelt. Unter ihnen entwickelte Philolaos eine Theorie[1]), nach welcher sich die Erde innerhalb eines Tages um ein Zentralfeuer drehe. Auf diese Weise wurde die tägliche Bewegung des Himmels als eine nur scheinbare erklärt. Sobald man das Zentralfeuer in die Mitte der Erdkugel verlegte, hatte man das eine Element der kopernikanischen Lehre, nämlich die Rotation unseres Weltkörpers um seine Achse antizipiert.

Das zweite Element dieser Lehre, die Umlaufbewegung der Erde und der übrigen Planeten um die Sonne, läßt sich heute in seiner allmählichen Entwicklung zurückverfolgen. Den Ausgang bilden die Beobachtungen an Venus und Merkur. Sie führten, wie wir sahen[2]), zu der Lehre des Herakleides Pontikos, nach welcher diese Himmelskörper um die Sonne kreisen. Von dieser Lehre, die früher wohl den Ägyptern zugeschrieben wurde, hat Kopernikus nach seinen eigenen Worten sehr wohl gewußt. Von hier aus konnte man leicht zu einer richtigen Auffassung des Weltsystems gelangen, wenn man die Sonne als Mittelpunkt auch der Bewegungen der übrigen Planeten betrachtete. Sieht man von den heute schwer sicher zu stellenden Spekulationen der Pythagoreer ab, so war es vor allem Aristarch, welcher die heliozentrische Weltansicht mit voller Klarheit aussprach. Ihn soll die Überzeugung, daß die Sonne weit

1) S. S. 72.
2) S. S. 74.

größer als die Erde und der Mond sei, zur Aufstellung seines Systems geführt haben. Auch ohne eine Kenntnis der Gesetze der Dynamik fühlte Aristarch sozusagen durch, daß es ungereimt sei, den Umlauf eines gewaltigen Weltkörpers um einen im Verhältnis winzig kleinen anzunehmen. Kopernikus fügte zu diesem Grund noch den hinzu, daß die Sonne als Leuchte der Welt auch in deren Mitte gehöre[1]).

Bis zum Ende der ersten, etwa bis Aristoteles reichenden Periode der griechischen Astronomie hatte die Spekulation überwuchert. Zum Glück traten jedoch in der alexandrinischen Schule und im Zusammenhange mit dieser, Männer auf, die sich mit nüchternem Sinne der Erforschung der Himmelserscheinungen zuwandten. Die Astronomie ging damit von den durch mangelhafte Beobachtung gestützten Philosophemen zum messenden Verfahren über und erhob sich dadurch auf die Stufe einer Wissenschaft im strengen Sinne des Wortes. Als diejenigen unter den Griechen, die zuerst diesen Weg beschritten haben, sind die Alexandriner Aristill und Timocharis und vor allem der schon erwähnte Aristarch von Samos zu nennen. Mit der Forschertätigkeit dieser Männer heben zwei Probleme an, die seitdem den menschlichen Geist beschäftigt haben und mit immer größerer Schärfe ihrer Lösung zugeführt worden sind. Es sind dies die Topographie des Fixsternhimmels, d. h. die genaue Bestimmung möglichst vieler Sternörter, sowie die Ermittelung der Abmessungen der Erde und unseres Planetensystems, zunächst der Entfernung der Sonne und des Mondes. In welchem Maße die Ägypter und ganz besonders die Chaldäer den alexandrinischen Astronomen durch Sammlung eines reichen, sich über lange Zeiträume erstreckenden Beobachtungsmaterials vorgearbeitet hatten, wurde an früherer Stelle dargetan.

Aristill und Timocharis, die ihre Beobachtungen um das Jahr 300 v. Chr. anstellten, bedienten sich der Armillen, d. h. geteilter Kreise, von denen der eine im Äquator lag, während der andere um die Weltachse gedreht werden konnte. Mit Hilfe dieses Apparates bestimmten sie die Lage einzelner Sterne, indem sie ihre Deklination oder den Bogenabstand vom Äquator bis auf Bruchteile von Graden ermittelten und gleichzeitig den Ort der Sterne auf den Frühlingspunkt bezogen. Das von ihnen herrührende Verzeichnis, das bis auf wenige Angaben verloren gegangen ist gab dann 170 Jahre später dem Hipparch die Möglichkeit, das

[1]) Kopernikus, De revolutionibus I, 10.

Vorrücken der Nachtgleichen zu entdecken[1]). Timocharis bediente sich bei seinen astronomischen Beobachtungen auch der Stundenangaben. Die Zwölfteilung des Tages läßt sich bei den Griechen nicht vor Alexander dem Großen nachweisen[2]). Vorher richtete man sich im praktischen Leben nach der Länge des eigenen Schattens und verabredete zum Beispiel eine Zusammenkunft für die Tageszeit, wann der Schatten 6 oder 8 Fuß lang sei.

Über die Größenverhältnisse des Planetensystems hat Aristarch die ersten Untersuchungen angestellt. Er war ohne Zweifel einer der geistig bedeutendsten Männer seiner Zeit. Von seinem Leben ist indessen keine nähere Kunde auf uns gelangt. Aristarch wurde um das Jahr 270 v. Chr. in Samos geboren. Das einzige, was von seinen Schriften erhalten blieb, sind Teile einer Abhandlung, die von der Größe und den Entfernungen des Mondes und der Sonne handelt[3]). Die Abstände dieser Weltkörper von der Erde verhalten sich nach Aristarch wie 1 : 19, während das wahre Verhältnis annähernd 1 : 400 ist. Zu seinem Ergebnis gelangte Aristarch durch folgende Überlegung. Erscheint von einem Punkte E der Erde (siehe Abb. 18) der Mond genau zur Hälfte von der Sonne beleuchtet, so bildet



Abb. 18. Aristarchs Verfahren, die Entfernung des Mondes und der Sonne zu bestimmen.

jener Punkt E mit den Mittelpunkten des Mondes und der Sonne ein rechtwinkliges Dreieck, in welchem der Abstand des Mondes eine Kathete (ME) und die Entfernung der Sonne die Hypotenuse (ES) ist. Der Winkel bei E mißt nun nach Aristarch 87°, während er in Wahrheit viel weniger von einem Rechten abweicht

1) Siehe an späterer Stelle ds. Bds.

2) G. Bilfinger, Die antiken Stundenangaben. Stuttgart 1888. S. 74.

3) Aristarchos, Über die Größen und Entfernungen der Sonne und des Mondes. Übersetzt und erläutert von A. Nokk. Als Beilage zu dem Freiburger Lyzeumsprogramm von 1854.

und sich auf 89° 50′ beläuft. Das gesuchte Verhältnis, das Aristarch auf mühsame Weise in die Grenzen 1 : 18 und 1 : 20 einschloß, ist gleich dem Cosinus des Winkels bei E, unter dem beide Weltkörper in dem angegebenen Falle von der Erde aus gesehen werden (EM : ES, siehe Abb. 18).

Der Weg, auf dem Aristarch sein Problem zu lösen suchte, ist, theoretisch genommen, zwar richtig. Daß sich trotzdem ein Resultat ergab, das von dem heute gültigen Wert in solch erheblichem Maße abwich, ist aus mehreren Umständen zu erklären. Einmal war man zu jener Zeit noch nicht imstande, solch kleine Winkelunterschiede, wie diejenigen, um die es sich hier handelt, zu messen. Zum andern aber besitzt die gesuchte Grenze zwischen dem beleuchteten und dem dunklen Teile des Mondes keine hinlängliche Schärfe. Immerhin verdiente Aristarch in vollem Maße die Anerkennung, die ihm das Altertum dieser Bestimmung wegen zollte. Daß Aristarch die heliozentrische Theorie 1½ Jahrtausende vor Kopernikus klar aussprach, geht auch aus einer Äußerung des Archimedes hervor. Sie lautet: Aristarch gelangt zu der Annahme, die Fixsterne samt der Sonne seien unbeweglich. Die Erde aber werde in einer Kreislinie um die Sonne, die in der Mitte der Erdbahn stehe, herumgeführt[1]. Auch die Raumverhältnisse der Weltkörper berechnete Aristarch. So fand er, daß der Mond etwa 30 (statt 48) mal so klein, die Sonne dagegen 300 (statt 1 300 000) mal so groß wie die Erde sei[2].

Die bedeutendste Förderung während des vorchristlichen Abschnitts des alexandrinischen Zeitalters erfuhr die Astronomie durch Hipparch. Dieser erleichterte die Arbeit des Astronomen vor allem dadurch, daß er als trigonometrisches Hilfsmittel eine Sehnentafel schuf. Sie enthielt für die Winkel im Kreise den Wert der zugehörigen Sehnen, in Teilen des Halbmessers ausgedrückt. Die Berechnung war sehr mühsam. Sie geschah, indem man von den Sehnen der Winkel 120°, 90°, 72°, 60°, 36° ausging. Diese Sehnen ließen sich als Seiten des regelmäßigen 3-, 4-, 5-, 6- und 10-Ecks leicht in Teilen des Radius ausdrücken. Mit Hilfe des pythagoreischen Lehrsatzes und eines Hilfssatzes bestimmte man dann die Sehnen von halben Bogen, sowie die Sehnen von Bogensummen und Bogendifferenzen und gelangte so zu einer Tafel von zahlreichen Bogen nebst den entsprechenden Sehnen. Anfangs wies diese Tafel

1) Des Archimedes Sandesrechnung (Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher. S. 13).

2) Aristarch, Über die Größen usw., Lehrsatz 16—18.

bedeutende Lücken auf, die man indessen durch Interpolation nach und nach ausfüllte. Erst von Ptolemäos wurden die Sehnen aller Winkel, nach halben Graden fortschreitend, mit hinreichender Genauigkeit bestimmt. Seine Tafel, die einen wesentlichen Teil des $1^1/_2$ Jahrtausende die Astronomie beherrschenden Ptolemäischen Werkes ausmachte, hat während jenes langen Zeitraumes den Astronomen an Stelle unserer heutigen trigonometrischen Tabellen große Dienste geleistet.

Ptolemäos teilte den Radius in 60 Teile und führte diese Teilung sexagesimal weiter. Die Sehnen wurden dann für die verschiedenen Winkel in Sechzigsteln des Radius ausgedrückt. So wurden feststehende Verhältnisse gewonnen, da die absolute Größe des Radius und der Sehnen nicht in Betracht kam. Es kam auch vor, daß Ptolemäos mitunter statt der ganzen die halben Sehnen benutzte, doch blieb die konsequente Durchführung dieser Maßregel, die ja die Einführung der Sinusfunktion bedeutet haben würde, den Indern vorbehalten.

Die Trigonometrie beschränkte sich bei den Alten auf das rechtwinklige Dreieck. Die Ausdehnung der trigonometrischen Funktionen auf Winkel von 90^0 - 180^0 erfolgte erst durch die Araber, die auch die Trigonometrie des schiefwinkligen Dreiecks begründeten [1]. Kamen solche Dreiecke für die alten Astronomen in Betracht, so wurden sie in rechtwinklige Dreiecke, die man berechnen konnte, zerlegt. Aus den Fortschritten, welche die Mathematik im alexandrinischen Zeitalter erfuhr, zog unter allen Wissenschaften die Astronomie auch weiterhin den größten Nutzen. Es begann für sie die Periode der systematischen, messenden Beobachtungen. Und wenn das Ergebnis auch noch nicht in der allgemeinen Annahme des wahren Weltsystems bestand, so gelangte man doch zur klaren Auffassung vieler, nur vermöge exakter Messung wahrnehmbarer Erscheinungen. Vor allem ist hier der Alexandriner Hipparch, zu nennen, welcher für die Astronomie dieselbe Bedeutung besitzt, die Aristoteles hinsichtlich der Zoologie und Archimedes in bezug auf die Mechanik zugeschrieben werden muß.

Während der ersten Entwicklungsstadien der Astronomie hatte man sich darauf beschränkt, die Stellung der wichtigeren Fixsterne dadurch festzulegen, daß man am Himmel gewisse Figuren einzeichnete. Mitunter brachten diese Sternbilder auch

[1]) J. Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. II. S. 223.

äußerliche Ähnlichkeiten zum Ausdruck, wie z. B. beim Wagen. In die Blütezeit der alexandrinischen Schule fällt nun der Versuch einer genaueren, durch Winkelmessung ermittelten Ortsbestimmung der wichtigsten Fixsterne. Man bezog ihre Stellungen auf die Punkte, in denen die Ekliptik den Himmelsäquator schneidet, und bestimmte bei einer größeren Anzahl auch den Abstand vom Äquator bis auf Teile eines Grades. Ein solches, von Aristill und Timocharis herrührendes Fixsternverzeichnis, das etwa 150 Angaben umfaßte, befand sich in den Händen des Hipparch, als plötzlich, im Jahre 134 v. Chr., ein seltenes astronomisches Ereignis, nämlich das Auftauchen eines neuen Sternes erster Größe, eintrat[1]. Bot aber die Fixsternregion, die Aristoteles als den Ort des unwandelbaren Seins bezeichnet hatte, derartige plötzliche Veränderungen dar, so mußte sich in den Astronomen der Wunsch nach einer genauen Topographie des Himmels regen, um auf solche Weise späteren Zeiten eine stete Kontrolle zu ermöglichen. In den auf jenes Ereignis folgenden Jahren bestimmte deshalb Hipparch etwa tausend Sternörter[2]. Hipparch löste dadurch nicht nur die gestellte Aufgabe, sondern er machte außerdem die wichtige Entdeckung, daß der Frühlingspunkt seine Lage langsam ändert. Für einen der hervorragendsten Sterne des Tierkreises, die Spica in der Jungfrau nämlich, ergab sich, daß er 6^0 vom Frühlingspunkte entfernt war, während der 170 Jahre früher gemessene Abstand 8^0 betrug. Die Breite der Fixsterne war dagegen unverändert geblieben. Dieses Vorrücken des Frühlingspunktes[3] glaubte Hipparch aus seinen und den älteren Beobachtungen auf mindestens einen Grad für ein Jahrhundert, also auf 36″ für das Jahr ansetzen zu dürfen, während es in Wahrheit 50″ beträgt.

Auch daß sich die Erde in der Sonnennähe schneller bewegt als in der Sonnenferne, wurde von Hipparch beobachtet, wenn

1) Der neue Stern trat, wie auch aus chinesischen Berichten hervorgeht, im Sternbilde des Skorpions auf.

2) F. Boll, Die Sternkataloge des Hipparch und des Ptolemäos (Bibl. math. Jahrg. 1901. 185). Nach Boll umfaßte Hipparchs Katalog 850 Sterne.

3) Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß die Erdachse innerhalb eines Zeitraums von 26000 Jahren einen Kegelmantel beschreibt. Infolgedessen ändert der Himmelsäquator, der sich als eine Projektion des Erdäquators darstellt, gleichfalls seine Lage innerhalb derselben Periode. Der Vorgang wird als Präzession oder Vorrücken der Nachtgleichen bezeichnet, weil dabei der Frühlings- und der Herbstpunkt langsam ihren Ort im Sinne der täglichen Umdrehung ändern.

er auch diese Bewegung auf unser Zentralgestirn übertrug, an dem sie ja nur scheinbar vor sich geht. Da man im Altertum an der aristotelischen Voraussetzung festhielt, daß die Bewegung der Himmelskörper gleichförmig und in Kreisen erfolge, so erklärte Hipparch die beobachtete Erscheinung aus der Epizyklentheorie, indem er die Sonne einen Kreis durchlaufen ließ, dessen Mittelpunkt sich auf einem größeren, um die Erde gespannten Kreise fortbewegen sollte. Die genauere Erforschung der scheinbaren Sonnenbewegung führte Hipparch ferner zu der Entdeckung, daß die Länge des Jahres, d. h. der Zeit zwischen zwei Durchgängen des Sonnenzentrums durch den Frühlingspunkt, nicht, wie vor ihm angenommen, 365 1/4 Tage beträgt, sondern daß sie etwas kürzer ist[1]. Eine schärfere Bestimmung der Mond- und der Planetenbewegungen, wie sie am Himmelsgewölbe vor sich zu gehen scheinen, hat Hipparch gleichfalls in Angriff genommen. Die Lösung dieser Aufgabe gelang jedoch erst mehrere Jahrhunderte später dem Ptolemäos, dessen Bedeutung für die astronomische Wissenschaft späterer Würdigung vorbehalten bleibt.

Auch das durch die Zahlenmystik der Pythagoreer angeregte, schon von Aristarch behandelte Problem, die Entfernungen und die Größe der Himmelskörper zu bestimmen, beschäftigte Hipparch. Behufs der Lösung dieser Aufgabe führte er den Begriff der Parallaxe ein. Man versteht darunter den Winkel, unter dem der Erdhalbmesser von dem Gestirne aus erscheint, dessen Abstand gemessen werden soll. Hipparchs Bestimmungen ergaben für die Entfernung des Mondes 59 Erdhalbmesser. Dieser Wert kommt der Wahrheit ziemlich nahe[2], während die von Hipparch herrührenden Werte für die Entfernung und die Größe der Sonne von der Wirklichkeit erheblich abweichen.

Die geschilderten Fortschritte der Astronomie trugen dazu bei, daß auch die Geographie immer mehr einen wissenschaftlichen Grundzug erhielt. Dies sprach sich vor allem darin aus, daß man sich der astronomischen Ortsbestimmung zu bedienen anfing. Anfangs waren die geographischen Karten bloße Itinerarien, d. h. sie wurden auf Grund der von den Reisenden angegebenen Wegelängen und der eingeschlagenen Himmelsrichtung entworfen. Während Eratosthenes bei seiner Bearbeitung der Länderkunde sich auf

[1] Hipparch nahm die Dauer des tropischen Jahres zu 365 Tagen 5 Stunden 55′ an, während sie in Wahrheit 365 Tage 5 Stunden 48′ 51″ beträgt.

[2] Die mittlere Entfernung zwischen den Mittelpunkten von Mond und Erde beträgt 60,27 Halbmesser des Erdäquators oder 384 400 km.

die Angabe der Polhöhe eines Ortes oder einer Landschaft beschränkte, führte Hipparch die Bestimmung nach geographischer Länge und Breite ein. Er teilte den Äquator in 360 Grade. Als Anfangsmeridian wählte er denjenigen, welcher die Insel Rhodos schneidet, da er hier einen Teil seiner Beobachtungen angestellt hatte. Während die Breite, nachdem man ihren Zusammenhang mit der Polhöhle erkannt, leicht bestimmt werden konnte, machte die Feststellung der Länge Schwierigkeiten. Diese wurden noch im Zeitalter Newtons lebhaft empfunden und erst durch die immer weiter gehende Vervollkommnung der Chronometer gehoben. Auch Hipparch brachte eine Art von chronometrischem Verfahren im Vorschlag. Unter der Voraussetzung, daß der Eintritt einer Himmelserscheinung, z. B. der Beginn einer Mondfinsternis, von allen Bewohnern eines Erdteils in demselben Augenblick gesehen wird, sollte die Zeit des Eintritts für verschiedene Orte festgestellt und aus dem Unterschied der Ortszeiten der Unterschied der Längen berechnet werden.

Für die kartographische Darstellung bediente sich Hipparch zur Abbildung des Himmels der stereographischen, zur Abbildung von Ländern meist der orthographischen Projektion. Bei der ersten Projektionsart wird eine Ebene zwischen das Auge und die abzubildende krumme Fläche gebracht. Jeder Strahl, der einen Punkt der letzteren mit dem Auge verbindet, schneidet jene Ebene. Infolgedessen projizieren sich die Punkte der krummen Fläche in der Weise auf die Ebene, daß das Auge von dem Bilde auf der Ebene denselben Eindruck bekommt, den es von der krummen Fläche, z. B. der Halbkugel des Himmels, erhält. Bei der orthographischen Projektion dagegen wird von jedem Punkte der darzustellenden krummen Fläche eine Senkrechte auf die Projektionsebene gefällt. Das Bild auf dieser macht also den Eindruck, den die krumme Fläche einem weit entfernten Auge bietet. Während so die Astronomie und die Geographie sich mächtig entwickelten und im 2. Jahrhundert nach Beginn der christlichen Zeitrechnung innerhalb derselben alexandrinischen Akademie durch Ptolemäos eine zweite Blütezeit erlebten, schien die wissenschaftliche Mechanik nach den hoffnungvollen Anfängen, die man dem Archimedes verdankte, zum Stillstande verurteilt zu sein, obgleich sich auch diese Wissenschaft für die Anwendung des durch die Mathematik gebotenen, deduktiven Verfahrens so sehr eignete. Abgesehen von der Schwerpunktsbestimmung körperlicher Gebilde — Archimedes hatte sich hierbei auf Flächen beschränkt — machte die theore-

tische Mechanik kaum wesentliche Fortschritte. Jene Bestimmungen rühren von Pappus von Alexandrien her, der um 300 n. Chr. lebte und somit einer späteren Periode angehört.

Pappus befaßte sich nach dem Vorbilde des Archimedes auch mit der Untersuchung von Rotationskörpern und kam dabei auf einen wichtigen allgemeinen Satz, der später unter dem Namen der Guldinschen Regel bekannt geworden ist. Pappus fand nämlich, daß der Inhalt eines Rotationskörpers aus der sich drehenden Figur und dem von dem Schwerpunkt dieser Figur beschriebenen Kreise berechnet werden kann. Diese Regel wurde im Laufe der Jahrhunderte vergessen und von Guldin (1577—1643), nach welchem sie heute die Guldinsche Regel genannt wird, von neuem gefunden.

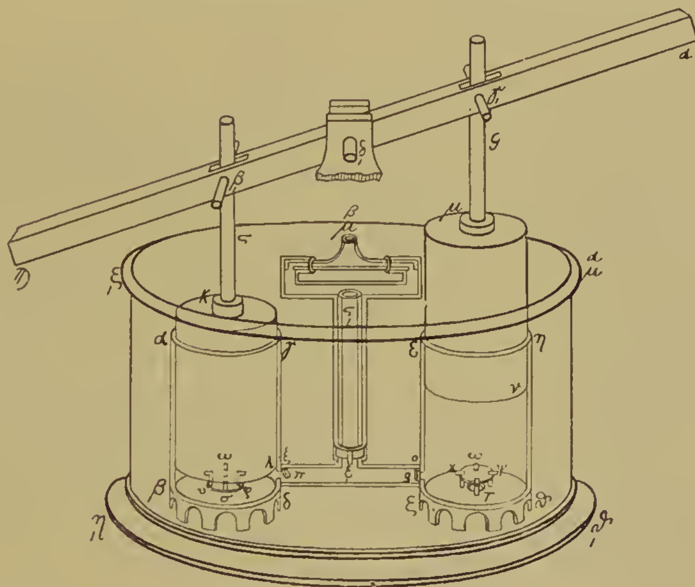


Abb. 19. Die Feuerspritze nach Heron.

Weit mehr als um die theoretische hat man sich während der alexandrinischen Zeit um die Fortbildung der praktischen Mechanik bemüht. Man versah z. B. die Wasseruhren mit einer Zeigervorrichtung und erfand die Feuerspritze[1]). Diese besaß, nach einem im 18. Jahrhundert aufgefundenen, aus der römischen Kaiserzeit herstammenden Exemplar[2]) zu urteilen, schon im Altertum eine im wesentlichen der heutigen entsprechende Einrichtung. (Abb. 19).

Auch gewann man damals einige Kenntnis von der Natur der Gase und der Dämpfe. Besonderen Ruhm auf diesem Gebiete er-

[1]) Die Erfindung der Feuerspritze wird dem Ktesibos (um 150 v. Chr Geb.) zugeschrieben. Siehe Vitruvius, De architectura, X, 7.

[2]) 1795 in der Nähe von Civita Vecchia ausgegraben.

langte Heron von Alexandrien, dessen Name noch heute in einem bekannten Apparat unserer physikalischen Sammlungen, dem Heronsball, fortlebt. Herons Tätigkeit fällt wahrscheinlich um das Jahr 100 v. Chr. Seine Pneumatik ist das erste auf uns gelangte Werk [1]), das sich mit Versuchen über die Eigenschaften der Luft und der gespannten Dämpfe beschäftigt Daß Heron auf diesem Gebiete zahlreiche Vorgänger besaß, ist daraus ersichtlich, daß er seine „Pneumatik" mit folgenden Worten beginnt: „Die Beschäftigung mit Luft- und Wasserkünsten ist von den alten Philosophen und Mathematikern hoch geschätzt worden. Es ist daher notwendig, das seit alters darüber Bekannte in gehörige Ordnung zu bringen" . . . Unter den Vorläufern Herons ist als einer der frühesten, der uns bekannt geworden ist, Ktesibios von Alexandrien zu nennen (um 140 v. Chr.). Letzterer fand einen Nachahmer in Philon von Byzanz. Bei ihm findet sich schon die Beschreibung des Heronsballs, der also eigentlich als Philonsball bezeichnet werden müßte [2]). Auch das Thermoskop begegnet uns schon bei Philon [3]). Philons Pneumatik und Herons Mechanik waren bis vor kurzem nur in spärlichen Fragmenten bekannt. Da entdeckte man, daß arabische Übersetzungen der griechischen Texte existieren. So wurde man [4]) 1894 mit der Mechanik Herons und 1897 mit der Pneumatik des Philon von Byzanz bekannt. Die Gesamtausgabe der Werke Herons ist für die Geschichte der Mathematik, sowie der reinen und der angewandten Naturwissenschaften von großer Bedeutung. Das Automatenwerk Herons ist auch kunstgeschichtlich von Wichtigkeit, da es manchen Aufschluß über die antiken Bühneneinrichtungen gibt [5]). Heron beschreibt in seiner „Pneumatik" eine große Anzahl von Apparaten, welche durch erwärmte Luft oder Dampf in Bewegung gesetzt werden. Die Ab-

---

[1]) Herons von Alexandria Pneumatica et automata. Griechisch und deutsch herausgegeben von Wilhelm Schmidt. Teubner, Leipzig 1899.

[2]) W. Schmidt, Aus der antiken Mechanik. Neue Jahrbücher für das klassische Altertum. Bd. 13 (1904). S. 329.

[3]) W. Schmidt, Die Geschichte des Thermoskops (Abhandl. z. Gesch. d. Mathem. VIII, 161—173).

[4]) Durch Carra de Vaux.

[5]) Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia. Leipzig, B. G. Teubner. Bd. I: Druckwerke und Automatentheater, griechisch und deutsch herausgegeben von W. Schmidt 1899. Bd II: Herons Mechanik und Katoptrik, herausgegeben und erläutert von L. Nix und W. Schmidt 1901. Bd. III: Herons Vermessungslehre und Dioptra, griechisch und deutsch von H. Schoene 1903.

bildungen, von denen wir einige hier wiedergeben, rühren nicht von Heron selbst, sondern von einem späteren Herausgeber her[1]).

Handelt es sich zum Teil auch um physikalische Spielereien, so begegnet uns doch manches, was den Anstoß zu späteren Erfindungen gegeben hat. Insbesondere gilt dies von einem Apparat, bei welchem der Dampf in derselben Weise einen Körper in drehende Bewegung versetzt, wie es das ausströmende Wasser bei den Reaktionsrädern bewirkt. Die Maschine Herons (Abb. 20) besteht aus einem Kessel, von dem zwei senkrechte Röhren ausgehen. Zwischen

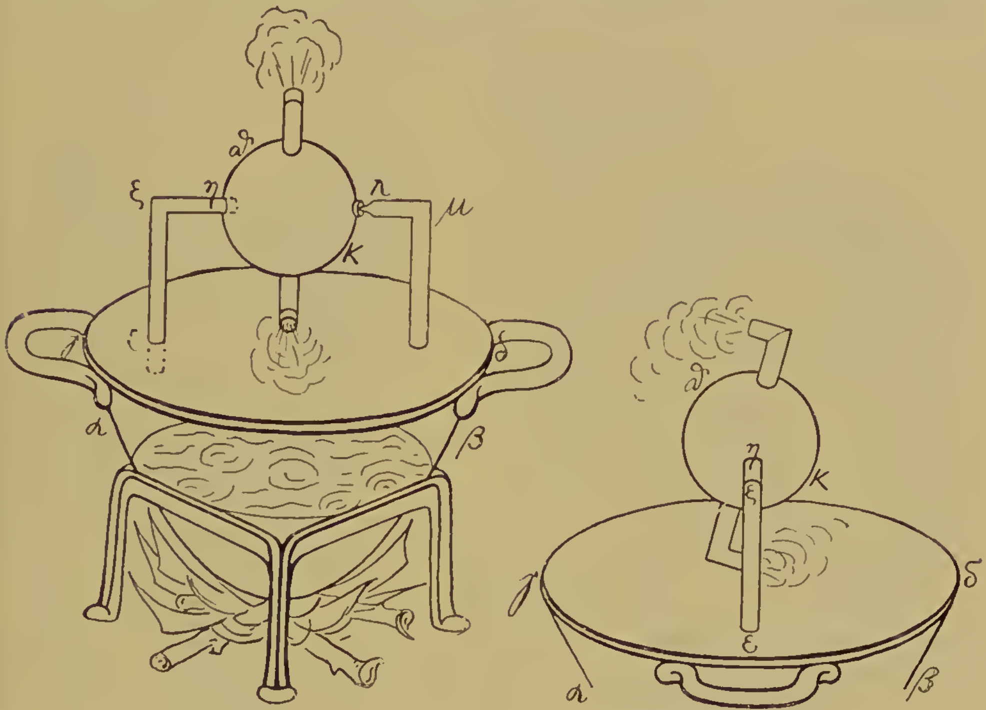


Abb. 20. Heron verwendet den Dampf zum Betriebe einer maschinellen Einrichtung.

ihnen befindet sich eine drehbare Hohlkugel mit zwei Ansätzen, aus welchen der in die Halbkugel geleitete Dampf in tangentialer Richtung entweicht. Dadurch wird die Kugel in Drehung versetzt. Den nach ihm benannten Ball (siehe Abb. 21) beschreibt Heron in folgender Weise. In die Öffnung eines Gefäßes wird eine Röhre eingelötet, die fast bis auf den Boden reicht und in eine enge Mündung ausläuft. Durch eine seitliche Öffnung gießen wir Wasser in das Gefäß. Darauf blasen wir in diese Öffnung hinein, während wir auf die enge Mündung der senkrechten Röhre den Finger legen. Schließen wir dann die seitliche Öffnung durch einen Hahn, und

[1]) Baldo v. Urbino.

nehmen wir den Finger von der senkrechten Röhre fort, so wird durch diese Röhre das Wasser durch die hineingeblasene, zusammengepreßte Luft emporgetrieben.

Endlich sei hier noch Herons Abbildung des Hebers wiedergegeben (s. Abb. 22). „Befindet sich“, sagt Heron in seiner Erläuterung dieses Apparates, „die Hebermündung in gleicher Höhe mit dem Wasserspiegel, so wird der Heber, obgleich er voll Wasser ist, nicht fließen, sondern gefüllt bleiben. Es ist nämlich, wie bei einer Wage, das Wasser in diesem Falle im Gleichgewicht, indem es bestrebt ist, auf der Seite $\vartheta\beta$ sich zu heben und auf Seite $\beta\gamma$

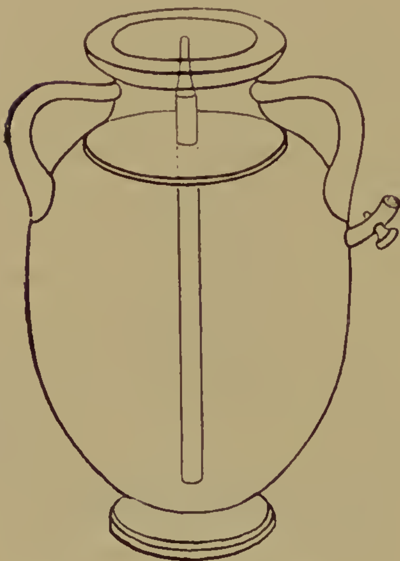


Abb. 21. Der Heronsball.

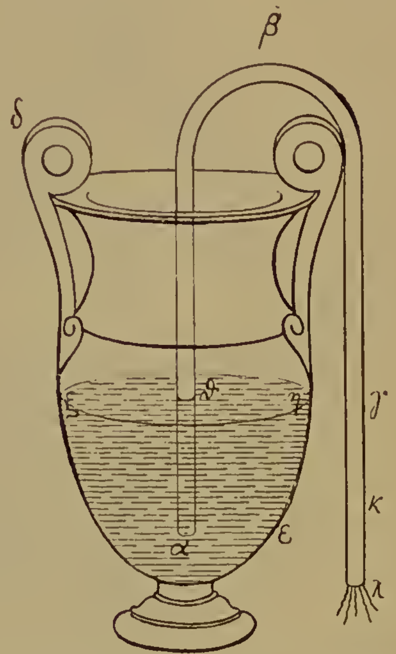


Abb. 22. Herons Abbildung eines Hebers.

sich zu senken. Ist aber die äußere Mündung des Hebers niedriger als der Wasserspiegel, so fließt das Wasser aus, da das in dem Abschnitte $\varkappa\beta$ befindliche Wasser, das schwerer ist als das in $\beta\vartheta$, letzteres überwältigt und anzieht“.

Was die Natur der Luft betrifft, so meint Heron, daß sie aus Teilchen bestehe, die wie die Körnchen des Sandes durch leere Zwischenräume getrennt seien. Dies beweise zumal der Umstand, daß sich noch Luft in eine Kugel zu der darin vorhandenen füllen lasse, was darauf beruhe, daß die neuen Luftteilchen an Stelle der leeren Räume treten. Wolle man annehmen, die Luft fülle den vorhandenen Raum ganz aus, so würde eine Kugel beim Hineinbringen einer weiteren Luftmenge platzen müssen. Gäbe es keine

Vakua, fügt Heron noch hinzu, so könnten weder Licht noch Wärme durch Wasser oder andere Flüssigkeiten dringen. Wenn nämlich die Flüssigkeit keine Poren hätte, sondern die Strahlen mit Gewalt ins Wasser drängen, so würden volle Gefäße überlaufen [1]). Jeder Körper besteht deshalb, nach Heron, aus Molekülen und dazwischen befindlichen leeren Räumen. Ein kontinuierliches Vakuum sei dagegen ohne Einwirkung einer äußeren Kraft nicht möglich [2]). Daß die Luft ein Körper ist, beweist Heron, indem er ein Gefäß umgekehrt ins Wasser taucht. Auch bemerkt er, die Luft habe eine eigentümliche Spannkraft, indem sie sich, wie ein trockener Schwamm, nach dem Zusammendrücken wieder ausdehne.

Zu welch überraschenden Kunststücken man diese Kenntnisse zu verwerten wußte, zeigt uns die, durch nebenstehende Abbildung (23) erläuterte, auf der Ausdehnung und der Zusammenziehung der Luft beruhende Vorrichtung.

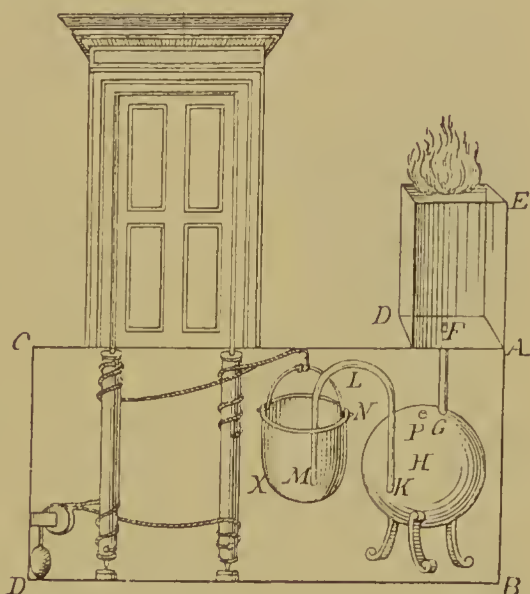


Abb. 23. Herons Automat zum Öffnen der Tempel [3]).

Wird auf dem Altar E ein Feuer angezündet, so treibt die erwärmte Luft infolge ihrer Ausdehnung das Wasser, das sich in der Kugel P befindet, in das aufgehängte, mit einem Drehwerk verbundene Gefäß M. Letzteres sinkt infolge seiner Gewichtszunahme und öffnet die Tür. Nach dem Erkalten der Luft strömt das Wasser durch die Röhre L nach P zurück, und die Tür wird durch das Gegengewicht D geschlossen, während das Gefäß M in seine frühere Lage zurückkehrt.

Sowohl die Beschreibung in Herons „Pneumatica", als auch die archäologischen Funde, liefern den Beweis, daß man im Altertum schon Orgeln mit Klaviaturen besaß, die man wie unsere heutigen Orgeln und Klaviere benutzte. Diese Orgeln wurden durch Wasser betrieben, mit dessen Hilfe man die Luft in einem

[1]) Ausgabe von Schmidt. S. 24.

[2]) Ausgabe von Schmidt. S. 29.

[3]) Heronis Alexandrini spiritualium liber. Amstelodami 1680. Siehe auch Mach, Die Prinzipien der Wärmelehre. Leipzig 1896 S. 5.

Kasten zusammenpreßte (Wasserorgel oder hydraulus). Eine aus Ton verfertigte Orgel wurde vor einigen Jahren in Karthago aufgefunden. Sie läßt außer den Einrichtungen, die zur Herstellung des Luftstromes dienen, drei Reihen von Orgelpfeifen und eine Klaviatur erkennen[1]. Heron bringt ferner eine Beschreibung der Feuerspritze, deren Rekonstruktion in Abbildung 19 wiedergegeben wurde (S. S. 149). Seine Beschreibung lautet: „Es seien $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta$ und $\varepsilon\ \zeta\ \eta\ \vartheta$ zwei bronzene Stiefel, deren Inneres für 2 Kolben ausgedrechselt ist. Die Kolben müssen luftdicht in die Stiefel passen. Diese seien durch das an beiden Enden offene Rohr $\xi\ o\ \delta\ \zeta$ miteinander verbunden. Außerhalb der Stiefel, aber innerhalb dieses Rohres sollen Klappenventile π und ϱ derart angebracht sein, daß sie sich nach der Außenseite öffnen können. Die Stiefel sollen auch auf dem Boden runde Löcher haben, die mit kleinen, geschliffenen Scheibchen bedeckt werden. Letztere sind durch Stifte und Häkchen so angebracht, daß sie sich wohl auf und abbewegen, aber sich nicht von den Öffnungen seitlich entfernen können. Mit den Kolben seien Kolbenstangen und ein Querbalken verbunden. Mit dem Rohre, das die beiden Stiefel verbindet, stehe ein vertikales Steigrohr in Verbindung. Dieses verzweige sich bei ς zu einem Doppelarm, der zu einer drehbaren Mündung führt“[2]. Die beschriebene Vorrichtung stimmt also mit der heutigen Feuerspritze überein, nur daß der Windkessel fehlt.

Ein Teil der zahlreichen, in Herons „Pneumatica“ beschriebenen Versuche stammt von Philon von Byzanz, der gleich Heron ein Schüler des Ktesibios war. Da einige von diesen Versuchen eine grundlegende Bedeutung haben, so seien sie hier angeführt. So stellte Philon ein Thermoskop her, das auf der Ausdehnung der Luft durch die Wärme beruhte. In eine Bleikugel a wurde das doppelt gebogene Rohr b (s. Abb. 24) luftdicht eingefügt. Das andere Ende des Rohres mündete unter Wasser. Brachte man die Bleikugel in die Sonne, so strömte die Luft durch b aus. Wurde dagegen die Bleikugel abgekühlt, so gelangte Wasser durch b in die Kugel[3].

[1] Das „Klavier“ der alten Römer. (Mitteil. zur Geschichte d. Medizin u. Naturwiss. 1905, S. 342). Der Bau der Wasserorgeln hat sich während des Mittelalters im oströmischen Reich erhalten, so daß die Konstruktion nicht, wie man früher annahm, gegen den Ausgang des Mittelalters von neuem entdeckt werden mußte.

[2] Schmidt a. a. O. S. 133.

[3] Heronis Alexandrini opera, ed. Schmidt. S. 475.

Die Abbildung 25 zeigt uns Philons Saugkerze. In dem Gefäße a befindet sich Wasser und eine brennende Kerze. Über diese wird d gestülpt. „Man wird“, sagt Philon[1]), „bald das Wasser aufwärts steigen sehen. Dies geschieht, weil die in d enthaltene Luft durch die Bewegung des Feuers verflüchtigt wird. Das Wasser steigt empor, je nach der Quantität Luft, welche verflüchtigt wird.“ Daß stets ein und dasselbe Quantum Luft verschwindet, entging also der Beobachtung des alten Physikers. Immerhin begegnet uns hier schon derselbe Versuch, den im 18. Jahrhundert Scheele und andere anstellten, um zu beweisen, daß die Luft aus zwei verschiedenen Gasen zusammengesetzt sei.

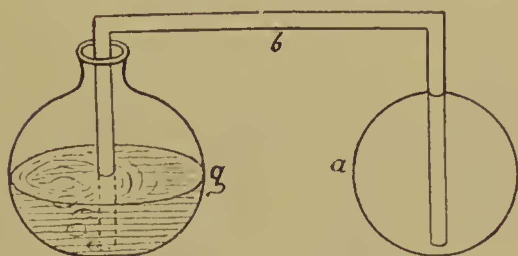


Abb. 24. Philons Thermoskop.

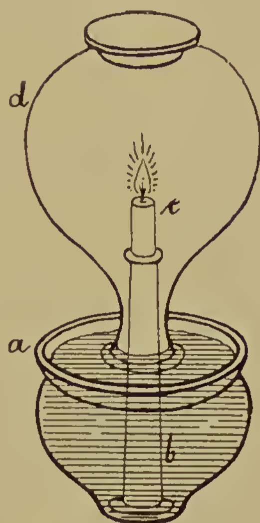


Abb. 25. Philons Saugkerze.

Heron hat auch über die Mechanik der festen Körper ein Werk geschrieben, das lange als verloren galt und nur auszugsweise durch den späteren Alexandriner Pappos (um 300 n. Chr.) erhalten blieb[2]). Wie Pappos mitteilt, hat Heron in diesem Werk die fünf Potenzen behandelt, nämlich den Hebel, das Rad an der Welle, den Keil, die Schraube und den Flaschenzug. So wird, um ein Beispiel zu bringen, der Flaschenzug mit folgenden Worten beschrieben: „Wenn wir eine Last aufziehen wollen, so müssen wir an einem daran gebundenen Seil mit einer Kraft ziehen, welche der Last gleich ist. Wenn wir aber das eine Ende des Seils an einem festen Ort anbinden und das andere Ende um eine an der Last befestigte Rolle legen, so werden wir die Last leichter bewegen. Und wenn wir an dem festen Ort eine zweite Rolle anbringen und das Seil auch um diese legen, werden wir die Last noch leichter bewegen. Aber wir bringen nicht die einzelnen Rollen an den festen Ort einerseits und die Last andrer-

[1]) Heronsausgabe von Schmidt. Abb. 115.

[2]) Pappi Alexandrini collectionis lib. VIII., ed. F. Hultsch. Berlin 1878. Über die vor kurzem entdeckte arabische Bearbeitung der Mechanik Herons siehe die folgende Seite.

seits, sondern um ihre Achse drehbar in einem hölzernem Gehäuse an, das wir eine Flasche nennen und binden diese Flasche mit einem Seile an den festen Ort. Diejenigen Rollen, welche mit der Last verbunden werden sollen, schließen wir in eine andere, der ersten gleichen Flasche ein[1]). Je zahlreicher die Rollen, desto leichter läßt sich die Last heben". An anderer Stelle löst Heron die Aufgabe, durch Zahnradübertragungen vermöge der Kraft 5 die Last 1000 zu heben (s. Abb. 27)[2]).

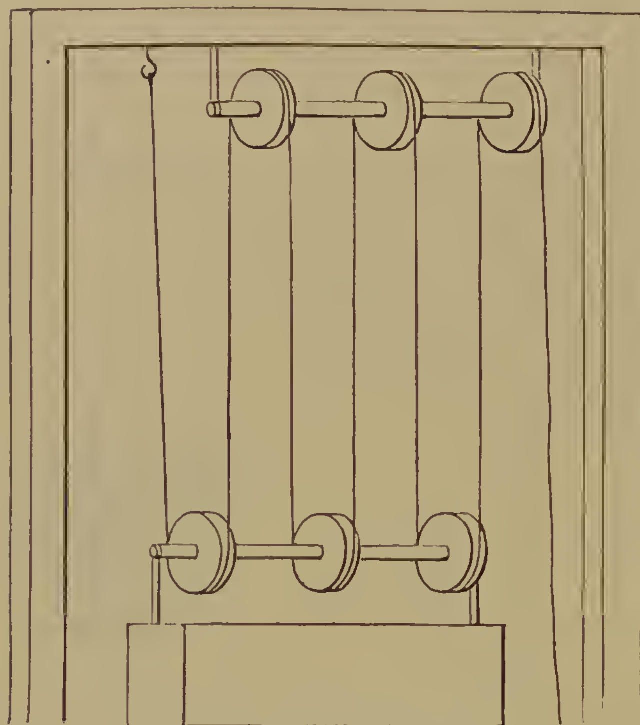


Abb. 26. Herons Flaschenzug.

Neuerdings ist die Mechanik Herons nach einer arabischen Handschrift in französischer Übersetzung herausgegeben worden[3]). Heron bringt

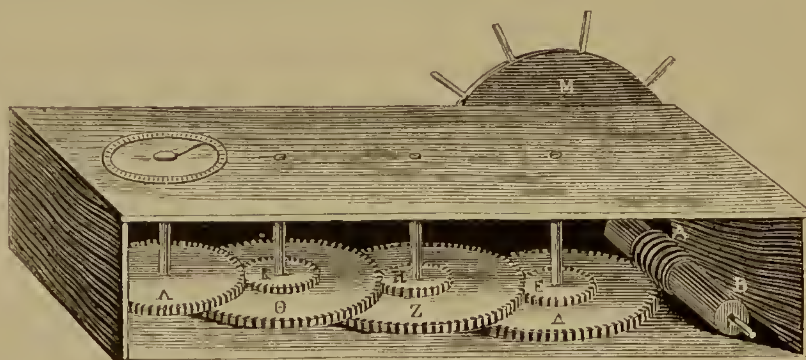


Abb. 27. Herons Zahnradübertragung.

1) Opera omnia. Ausgabe von Schmidt. Bd. II. S. 102.

2) Papp. Kap. X. Heron (Ausg. Schmidt) Bd. II. 1. Teil. S. 259.

3) Von Carra de Vaux im Journal asiatique IX, 1—2. Von dem griechischen Text sind nur einige Fragmente vorhanden. Bd. II. Der Opera omnia (Ausg. v. Schmidt) enthält die Übersetzung der Mechanik nach der arabischen Bearbeitung dieser Schrift Herons. Die Katoptrik wurde nach einem lateinischen Text übersetzt.

in einer Arbeit nicht nur die Beschreibung und die Theorie der fünf einfachen Maschinen, sondern er beschäftigt sich auch eingehend mit Schwerpunktsbestimmungen. So findet er den Schwerpunkt des Dreiecks als den Schnittpunkt der Mitteltransversalen, die sich im Verhältnis 2 : 1 teilen. Um den Schwerpunkt des unregelmäßigen Vierecks zu finden, zerlegt er es durch eine Diagonale in zwei Dreiecke, verbindet deren Schwerpunkte und teilt dann diese Verbindungslinie im umgekehrten Verhältnis der Gewichte dieser Dreiecke.

Beim Hebel und beim Flaschenzug untersucht Heron das Verhältnis des Kraftweges zum Lastwege oder der Zeiten, welche die Last je nach dem Kraftgewinn zum Emporsteigen auf eine bestimmte Höhe gebraucht. Er gelangt dabei zu dem Gesetz, das wir heute als die goldene Regel der Mechanik bezeichnen. Die Fassung, welche er diesem Gesetz gibt, lautet: „Das Verhältnis der Zeiten ist gleich dem umgekehrten Verhältnis der bewegenden Kräfte[1]“. Nicht so klar ist Heron die Theorie der Schraube und des Keiles geworden. Hier vermag er das Verhältnis von Kraft und Last nicht anzugeben. Es rührt dies daher, daß er Keil und Schraube nicht auf die schiefe Ebene zurückführt, sondern sich vergeblich abmüht, sie aus der Hebelwirkung zu erklären. Die schiefe Ebene wird von ihm nicht zu den einfachen Maschinen gerechnet und gleichfalls in ihrer Wirkung noch nicht richtig erkannt[2].

Eine besondere Würdigung verdienen noch Herons Bemühungen um die Ausgestaltung der Feldmeßkunst. Heron verfaßte eine Schrift „Über die Dioptra“[3]. Es ist das ein Meßapparat, in dem wir das Urbild des heutigen Theodolithen erblicken müssen. Eine Rekonstruktion des interessanten Instruments ist in nebenstehender Abbildung wiedergegeben[4]. Die Hauptteile waren die auf dem Stativ ruhende Platte AB und das Zahnrad $\Gamma\Delta$, welches durch die archimedische Schraube EZ in Bewegung gesetzt wurde und dadurch eine Drehung des ganzen Instrumentes um eine vertikale Achse

[1] Journal asiatique IX, 2. S. 264 u. f.

[2] Eine gute Übersicht über das physikalische Wissen Herons bietet die Programmabhandlung von F. Knauff, Sophiengymnasium, Berlin. Ostern 1900.

[3] Der griechische Text wurde 1858 von Venturi und Vincent mit französischer Übersetzung herausgegeben und zwar in den Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque impériale XIX, 2 Paris 1858.

[4] Sie rührt von Hermann Schöne her und wurde im Jahrbuch des kaiserl. deutschen archäologischen Institutes (Bd. XIV, 1899, Heft 3) veröffentlicht.

ermöglichte. Eine zweite archimedische Schraube befand sich über K *Λ*. Man erkennt, daß sie die Aufgabe hatte, vermittelst des vertikal gestellten, halbkreisförmigen Zahnrades die oberste, mit dem Visierlineal versehene Platte um eine horizontale Achse zu drehen. Da die Platte nicht unmittelbar auf dem halbkreisförmigen Zahnrade aufsaß, sondern an eine rechteckige Fortsetzung des letzteren angeschlossen war, so konnte die Drehung um die horizontale Achse vermittelst der oberen archimedischen Schraube so lange fortgesetzt werden, bis die große Platte eine senkrechte Stellung eingenommen hatte. Es ließ sich somit jeder Horizontal- und jeder Höhenwinkel mit Hilfe dieses Apparates messen, so daß die Dioptra zur Lösung von Aufgaben der Feldmeßkunst vortrefflich geeignet war. Die Einstellungen wurden durch Wasserwage und Bleisenkel vermittelt. Ferner besaß das Diopterlineal, um auch kleinere Winkel noch ablesen zu können, eine bedeutende Länge.

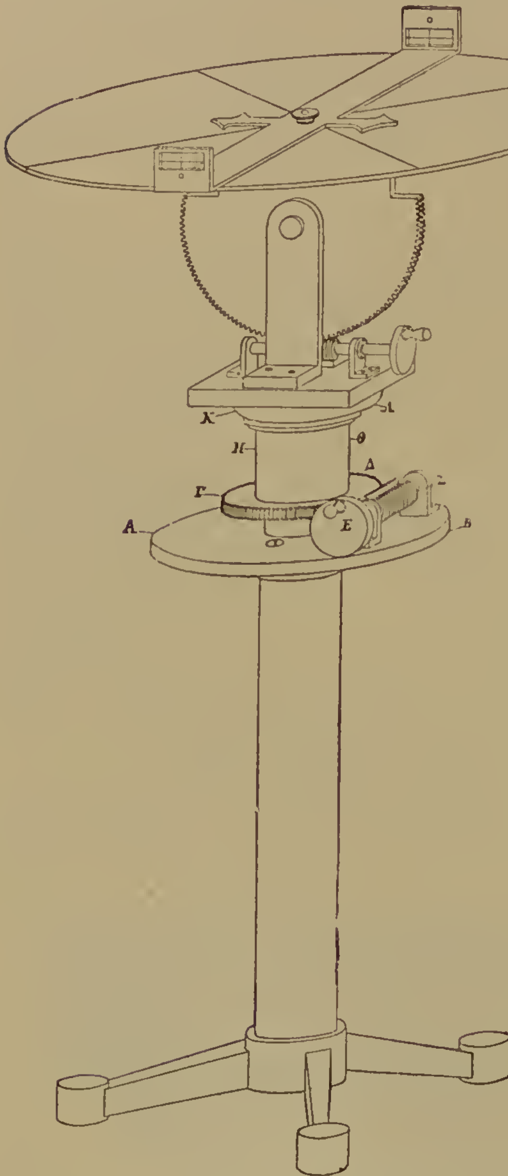


Abb. 28. Herons Winkelmeßapparat.

Von den zahlreichen Aufgaben, für welche Heron in seiner Schrift das einzuschlagende Meß- und Berechnungsverfahren angibt, seien hier nur einige erwähnt. Die wichtigste Aufgabe war die Aufnahme eines Feldes von beliebiger Umgrenzung, Heron verfuhr dabei wie folgt. Zunächst wurde ein großes Rechteck so abgesteckt, daß es innerhalb der Umgrenzung lag (siehe Abb. 29).

Dann wurde von vielen Punkten der Umgrenzung der senkrechte Abstand von der zugewandten Seite des großen Rechtecks gemessen. Auf diese Weise wurde der außerhalb des Rechtecks liegende Teil des zu messenden Feldes in kleinere Abschnitte von möglichst regelmäßiger Form zerlegt, deren Flächeninhalt leicht annähernd ausgemessen werden konnte.

Ein Blick auf die Abbildung belehrt uns, daß Heron hier mit rechtwinkligen Koordinaten operiert, und daß er die umgrenzende Linie recht genau in den Plan einzeichnen konnte, wenn er nur

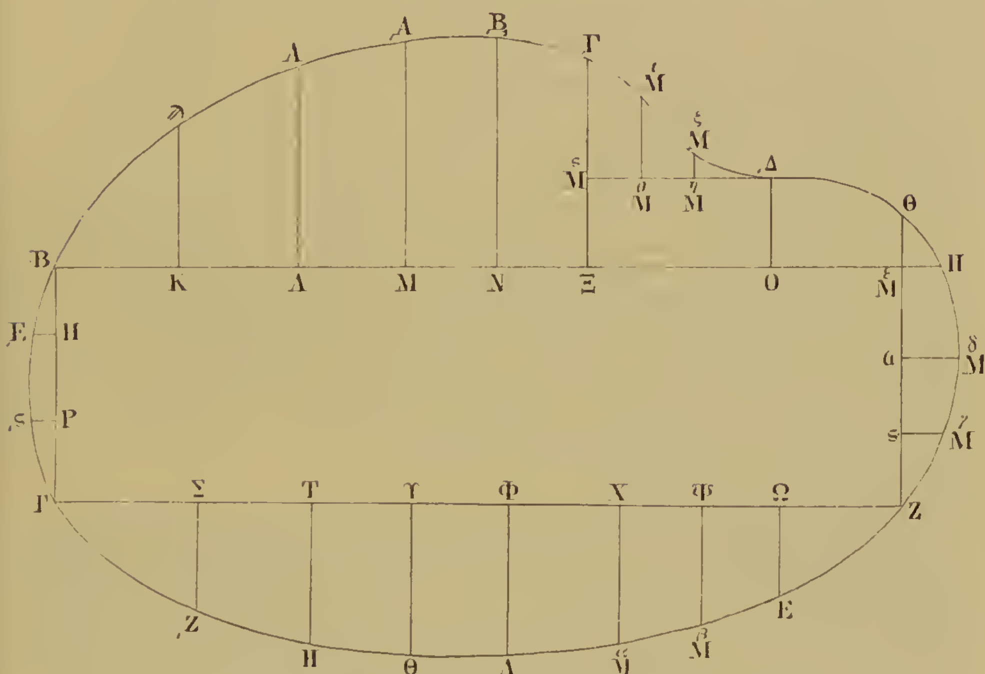


Abb. 29. Herons Vermessung eines Feldes.

recht viele Senkrechte von den Punkten der Linie aus nach den Rechteckseiten errichtete und ausmaß.

Weiter zeigt Heron, wie man die Breite eines Flusses ermittelt, ohne ihn zu überschreiten. In einem andern Abschnitt wird die Aufgabe gelöst, ein Feld mit Hilfe eines Planes wieder abzustecken, wenn die Umfriedigung mit Ausnahme weniger Grenzsteine verloren gegangen ist[1]. Ein Abschnitt (30) entwickelt die Heronsche Formel für die Fläche eines Dreiecks, dessen 3 Seiten gegeben sind. Sie lautet:

$$\triangle = \sqrt{\frac{a+b+c}{2} \cdot \frac{a+b-c}{2} \cdot \frac{a+c-b}{2} \cdot \frac{b+c-a}{2}}$$

[1] Siehe Abschn. 25 des Heronschen Werkes, sowie Cantor, Geschichte der Mathematik. Bd. I. S. 324.

Ob Heron diese Formel selbst gefunden oder anderen entlehnt hat, ist nicht bekannt. Auch weiß man nicht, wie groß sein Anteil an der Konstruktion der Dioptra ist. Sicherlich bestand die Feldmeßkunst in Ägypten schon Jahrtausende vor Heron. Doch waren ihre Regeln zum Teil recht mangelhaft, so daß man[1]) annehmen darf, daß Heron, auf die Arbeiten seiner Vorgänger fußend, ein offizielles, zahlreiche Verbesserungen aufweisendes Lehrbuch der Feldmeßkunst lieferte. Dieses hat dann auch den Römern als Handbuch gedient. Stand doch bei diesem Volke die Vermessungskunde, wie bei dem praktischen Grundzuge der Römer nicht anders zu erwarten ist, in hoher Blüte. Wie wäre z. B. die Anlage ausgedehnter Wasserleitungen möglich gewesen, wenn die Kunst des Nivellierens, für welche man sich ebenfalls der Dioptra bediente, den Römern nicht geläufig gewesen wäre. Während der griechische Text der Dioptra schon seit 1858 bekannt ist, entdeckte man erst 1896 Herons Metrika, ein Werk, das seit dem 6. Jahrhundert verschollen war. Die „Metrika" Herons[2]) stellen ein Handbuch dar, das eine Anweisung zur Teilung und Berechnung von Flächen enthält, während die seit 1858 im griechischen Wortlaut bekannte „Dioptra"[3]) Herons die Beschreibung der wichtigsten geodätischen Hilfsmittel und eine Anzahl von Aufgabenbeispielen lieferte.

Zu den Aufgaben, deren Lösung Heron angibt, gehört außer den Nivellierungen auch die Absteckung von Graden zwischen zwei Punkten, von denen der eine nicht vom andern aus gesehen werden kann. Die Aufgabe war schon im Altertum praktisch wichtig, z. B. wenn es galt, einen Tunnel durch einen Berg zu führen. Daß die alten Ingenieure schon Tunnelbauten von beträchtlicher Ausdehnung ausführten, beweist die im Jahre 1884 erfolgte Freilegung eines Tunnels von etwa 1000 m Länge durch den Kastroberg (auf Samos).

Wie Heron die Aufgabe löste, einen Berg zu durchstechen, wenn die Mündungspunkte des Durchstichs gegeben sind, zeigt uns Abb. 30. Wir sehen, daß er sich auch hierbei wieder eines Systems von rechtwinkligen Koordinaten bediente.

---

[1]) Siehe Cantors Geschichte der Mathematik.

[2]) Heronis Alexandrini Opera, quae supersunt omnia. Ausgabe von Schmidt. Bd. I—III. Leipzig 1899, 1900, 1903. Die „Metrika" finden sich im III. Bande; sie wurden von R. Schöne 1896 entdeckt.

[3]) S. S. 157. Anm. 3.

Ein Beispiel für den Tunnelbau der Alten bietet der noch jetzt vorhandene Emissar des Albaner Sees. Dieser Emissar stellt einen Stollen von 1200 m Länge dar. Seine Breite beträgt 1½ m, seine Höhe 2—3 m[1]). Als eine Ingenieurarbeit größeren Stils ist aus der griechischen Geschichte die Trockenlegung des Kopaissees unter Alexander dem Großen zu erwähnen[2]).

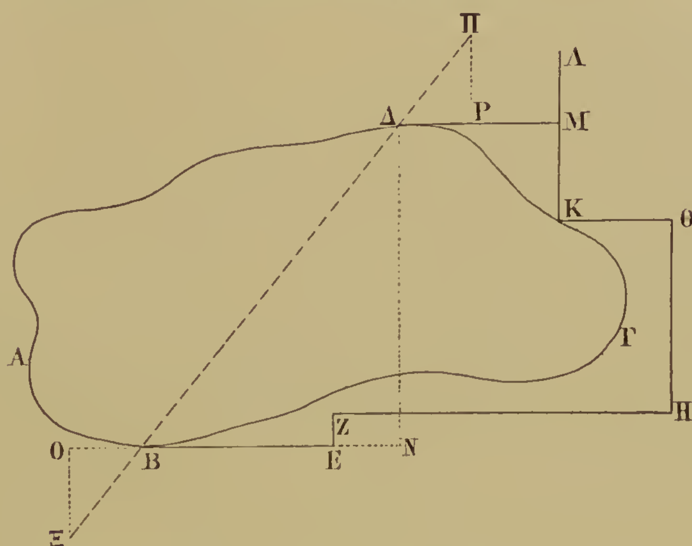


Abb. 30. Herons Tunnelaufgabe.

Bei Heron begegnen uns auch die ersten Anweisungen darüber, wie man sich beim Bergbau unter der Erde zu orientieren hat. Aus diesen Anfängen hat sich, besonders seit dem Zeitalter des Agricola, des Begründers der neueren Mineralogie (16. Jahrhundert), die Markscheidekunst entwickelt.

Durch Herons Schriften sind wir am besten mit dem konkreten Messen und Rechnen seiner Zeit und mit den damals gebräuchlichen Maßen bekannt geworden. Für das kaufmännische Rechnen fehlt es leider an einer ähnlichen Überlieferung[3]). Doch begegnet uns bei Heron die schon im alten Ägypten gepflegte Verteilungs- und Gesellschaftsrechnung. Bekannt ist beispielsweise Herons Brunnenaufgabe. Es wird darin nach der Zeit gefragt, innerhalb deren durch mehrere Röhren ein Behälter mit Wasser gefüllt werden kann, wenn man die Füllzeit für jede einzelne Röhre kennt.

[1]) E. Merkel, Die Ingenieurtechnik im Altertum 1899. S. 151.

[2]) F. Zink, Die Entwicklung der Entwässerungen mit offenen Gräben und Drainagen von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Drainierungsanlagen mit Tonröhren wurden in Babylonien schon um 1900 v. Chr. hergestellt.

[3]) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. I. S. 98.

Heron hat auch über die Katoptrik geschrieben. Die Katoptrik Herons läßt uns erkennen, daß schon im Altertum die Ansicht bestand, daß die Natur nichts vergeblich tue. Von diesem Prinzip ausgehend, wurde die gradlinige Ausbreitung des Lichtes erklärt. Die gleiche Betrachtungsweise leitete Heron, als er nachwies, daß der Weg, den das einfallende und das reflektierte Licht zurücklegt, nur dann ein Minimum ist, wenn der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist[1]).

Bei der Beurteilung der Schriften eines Ptolemäos, Euklid und Heron läßt es sich schwer entscheiden, was diese Männer auf den von ihnen behandelten Gebieten Eigenes, Neues geschaffen und was sie ihren Zeitgenossen und Vorgängern entlehnt haben. Es kann indessen auch gar nicht die Aufgabe der hier gebotenen, zusammenhängenden Darstellung einer Geschichte der Wissenschaften sein, im einzelnen Prioritätsansprüche gegeneinander abzuwägen. Diese, in der Regel wenig fruchtbringende, Aufgabe muß der historischen Detailforschung überlassen bleiben, eine Einschränkung, die hier auch gleich für die Behandlung späterer Perioden der Wissenschaft gemacht sei. Für uns ist es viel wichtiger, in den jeweiligen Stand der Kenntnisse einzudringen und den logischen Zusammenhang, die bedingenden Ursachen aufzuweisen. Für diesen Zweck war die etwas ausführlichere Darstellung, die wir den genannten drei alexandrinischen Gelehrten gewidmet haben, von großem Werte.

Während die Astronomie, die Mathematik und einige Zweige der Physik von den Alexandrinern sehr gepflegt und gefördert wurden, wandten sie den beschreibenden Naturwissenschaften ein geringeres Interesse zu. Vielleicht ist dies in der kommentatorischen Gelehrsamkeit der Alexandriner begründet. Bestand doch ihre Hauptaufgabe darin, Handschriften zu vergleichen, zu erläutern und zu ergänzen. So sagt Plinius von ihnen: „In den Schulen sitzen und Vorträge anhören, war angenehmer, als durch Einöden zu gehen und Tag für Tag neue Pflanzen zu suchen“[2]). Als selbständige Wissenschaft hörte die Botanik auf. Sie bestand in der alexandrinischen Schule nur noch als ein Zweig der Heilkunde, als Heilmittellehre weiter. Es war deshalb von Bedeutung für die Entwicklung der Botanik, daß die Geographen dieses Zeitalters der Pflanzenwelt ihre Aufmerksamkeit zuwandten. Vor allem ist hier Strabon

[1]) Haas, Antike Lichttheorien im Archiv für Geschichte d. Philosophie. 20. Bd. (1907). S. 356.

[2]) Meyer, Geschichte der Botanik I. 215.

als der größte unter den Geographen der alexandrinischen Schule zu nennen. Wenn dieser Mann auch nicht selbst Pflanzenkenner war, so nahm er doch die Pflanzen- und die Tierwelt als Gegenstand der geographischen Wissenschaft mit Recht in Anspruch, so daß seit Strabons Auftreten auch die Bedeutung der Botanik für die allgemeine Erdkunde gewürdigt worden ist.

In höherem Maße als die Botanik wurde die Anatomie bei den Alexandrinern gepflegt. An erster Stelle sind hier Herophilus (um 300 v. Chr.) und Erasistratus (um 280 v. Chr.) zu nennen. Von Herophilus rührt die erste eingehendere Untersuchung des Auges her, während Erasistratus die blutführenden Venen von den, nach damaliger Ansicht, mit Pneuma gefüllten Arterien unterschied. Vor allem wurde aber die Anatomie dadurch auf eine sichere Grundlage gestellt, daß man die Sehnen von den Nerven unterschied und letztere als die Organe der Empfindung, sowie die Muskeln als die Werkzeuge der Bewegung kennen lernte Allerdings waren die Alexandriner in ihren Mitteln nicht sehr wählerisch, da sie selbst vor Vivisektionen an Menschen nicht zurückscheuten[1]).

[1]) Häser, Geschichte der Medizin I. 233.

6. Die Naturwissenschaften bei den Römern.

Weit später als in Griechenland und in dem von Griechen bewohnten Süden Italiens entwickelte sich eine höhere geistige Kultur in Mittelitalien. Die Hauptmasse der Bevölkerung dieses Teiles der Apenninenhalbinsel war in vorhistorischen Zeiten, als ein den Hellenen und Kelten stammverwandtes Volk, über die Alpen eingedrungen. Sie war dort zunächst mit den Etruskern, einem Volk, dessen Abstammung zweifelhaft ist, in Berührung getreten. Erst weit später machte sich der Einfluß der in Süditalien bestehenden griechischen Ansiedelungen auf die mittelitalischen Völkerschaften geltend. Es geschah dies erst, nachdem letztere unter der Führung Roms eine staatliche Einigung erfahren hatten.

Während man sich in den unserer Zeitrechnung vorangehenden Jahrhunderten in der Stille des alexandrinischen Gelehrtentempels die Welt zu erkennen mühte, hatte man sie von Mittelitalien aus durch die Gewalt der Waffen unterjocht. Griechenland war schon länger als ein Jahrhundert römische Provinz, als im Jahre 30 v. Chr. Ägypten dasselbe Schicksal ereilte. Die politische Umgestaltung dieses Landes vollzog sich jedoch allmählich, da der römische Einfluß sich schon lange vor jenem Zeitpunkt in stetig wachsendem Maße geltend gemacht hatte. Diese Umgestaltung war daher auch für die Wissenschaften nicht von solch einschneidender Bedeutung wie später das Hereinbrechen entfesselter, barbarischer Horden. In dem Maße, wie die Römer das dem Osten sein geistiges Gepräge verleihende Griechenland politisch überwanden, nahmen sie den Inhalt der griechischen Bildung in sich auf. Sie wurden die Herren, aber zugleich die Schüler der Griechen. Auch aus den reichen literarischen Schöpfungen der Semiten und der Ägypter vermochten die Römer zu schöpfen[1]). Meister sind sie auf dem Gebiete der Kunst und Wissenschaft indessen nicht geworden. Weit mehr entsprach ihrem ganzen Sinne, sowie ihren Bedürfnissen eine Fortentwicklung der Technik. Auf diesem Felde haben sie, wie die großartigen Überreste ihrer Werke noch heute bezeugen, die Griechen zweifelsohne übertroffen. Doch erfuhr die wissenschaftliche Grund-

---

[1]) Lindner, Weltgeschichte, Bd. I. S. 26.

lage der Technik, die Mechanik nämlich, durch die Römer keinen wesentlichen Fortschritt. Wurde auch während der Kaiserzeit Rom, nachdem es zum politischen Mittelpunkt der Welt geworden, neben Alexandrien mehr und mehr zu einem Sitz der Wissenschaften, so kann man doch von einem römischen Zeitalter der letzteren nicht sprechen. Darüber, sich die Elemente der griechischen Bildung anzueignen, sind die Römer kaum hinausgekommen, während in dem römisch gewordenen Alexandrien ein neuer, bedeutender Aufschwung die ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung ausfüllt.

Von dem die Hellenen beherrschenden Streben, im Einzelnen das Allgemeine, die Idee zu finden, gingen die Römer zu einem mehr empirischen, oft unkritischen Beobachten des Äußerlichen über und gelangten auf diesem Wege mitunter zu Plattheiten, wie sie uns bei Cicero begegnen, der da meinte, die Naturwissenschaft suche entweder nach Dingen, die niemand wissen könne oder nach solchen, die niemand zu wissen brauche. Es sind manche Vermutungen darüber ausgesprochen worden, weshalb die Römer das von den Griechen begonnene Werk nicht forgesetzt haben, so daß auf die Begründung der Wissenschaften unmittelbar ihr weiterer Ausbau gefolgt wäre. Die einen erblicken die Ursache dieser Erscheinung in dem Fehlen der experimentellen Forschungsweise, obgleich doch, wie wir sahen, die Ansätze zu einer solchen in der Blütezeit der alexandrinischen Periode wohl vorhanden waren. Andere meinen, die Römer, welche zwar die berufenen Erben der Griechen gewesen seien, hätten bei ihrer Aufgabe, die Welt zuerst zu erobern und sie dann zu beherrschen, weder Zeit noch Sinn für die Beschäftigung mit wissenschaftlichen Dingen gehabt. Auch den Mangel an Werkzeugen für die wissenschaftliche Arbeit, wie sie die neuere Zeit in Fülle hervorbrachte, hat man dafür verantwortlich machen wollen, daß die Wissenschaft nach ihrer Begründung zunächst keine wesentlichen Fortschritte aufwies.

Die Einflüsse, welche die in Frage stehenden, sowie ähnliche Erscheinungen in der Entwicklung der Zivilisation und des Geisteslebens herbeigeführt haben, sind für uns, die wir solch entlegene Zeiten durch ein sehr getrübtes Medium erblicken, nicht mehr scharf erkennbar. Jedenfalls haben hier nicht nur eine oder einige der genannten Ursachen mitgespielt, sondern es hat ein Zusammenwirken zahlreicher Umstände stattgefunden. Die Anlagen, die auch bei nahe verwandten Völkern nicht immer die gleichen sind, sowie die Macht der politischen und der religiösen Verhältnisse werden jedenfalls hierbei in erster Linie den Ausschlag gegeben haben.

So war[1]) „die ganze Geistesanlage der Römer nach wesentlich anderen Gebieten gerichtet als dem der reinen Wissenschaft". Und selbst als Rom Weltreich geworden, betonte Cicero, daß die griechischen Mathematiker auf dem Gebiete der Geometrie das Glänzendste geleistet, während sich die Römer nur auf die Kunst des Rechnens und des Ausmessens beschränkt hätten[2]).

Die ersten Kenntnisse in der Feldmeßkunst, sowie ihre Zahlzeichen verdanken die Römer sehr wahrscheinlich den Etruskern.

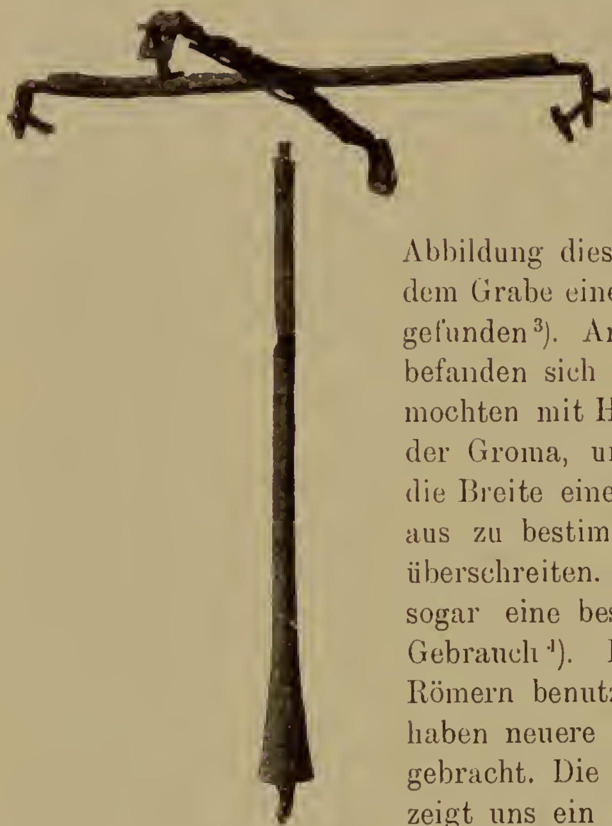


Abb. 31. Der Meßapparat der Römer.

Als Meßapparat benutzten sie ein Winkelkreuz, das aus zwei in der horizontalen Ebene sich schneidenden Linealen bestand. Eine Abbildung dieses Apparates wurde auf dem Grabe eines römischen Feldmessers gefunden[3]). An den Enden der Lineale befanden sich Lote. Die Altitaler vermochten mit Hilfe dieses Instrumentes, der Groma, und der Meßstange schon die Breite eines Flusses von einem Ufer aus zu bestimmen, ohne den Fluß zu überschreiten. Für diese Aufgabe war sogar eine bestimmte Bezeichnung im Gebrauch[4]). Das erwähnte, von den Römern benutzte Winkelmeßinstrument haben neuere Ausgrabungen ans Licht gebracht. Die nebenstehende Abbildung zeigt uns ein bei der Limesforschung[5]) entdecktes Exemplar. Die Abbildung (32) zeigt uns eine Rekonstruktion. Das Instrument[6]) der Römer bedeutet gegen

[1]) Nach einem Ausspruch Cantors (Gesch. d. Math. Bd. I. S. 45).

[2]) Cicero, Tuscul. Quaest. Lib. I. 2, 5.

[3]) Die betreffende Grabschrift wurde im XIV. Bande der II. Serie der Abhandlungen der Turiner Akademie veröffentlicht.

[4]) Siehe Cantor, Bd. I. S. 456.

[5]) In der Nähe von Regensburg.

[6]) Näheres siehe bei Schmidt, Neue Jahrbücher für das klassische Altertum. Bd. 13 (1904) S. 329. Ferner Bibl. math. 3. Folge 4. Bd. Die Frage, ob die römischen Feldmesser von Heron abhängig waren, wird von Schmidt außer Betracht gelassen.

Herons Dioptra einen Rückschritt. Sie benutzten es zur Festlegung der Nord-Süd-Linie und zum Abstecken rechter Winkel. Als Nivellierlineal bedienten sie sich einer Art Kanalwage.

Einen Aufschwung erfuhr die Mathematik zur Zeit Cäsars. Es zeigten sich die Anfänge einer eigenen mathematischen Literatur, wie denn auch Cäsar selbst als Schriftsteller auf mathematischem

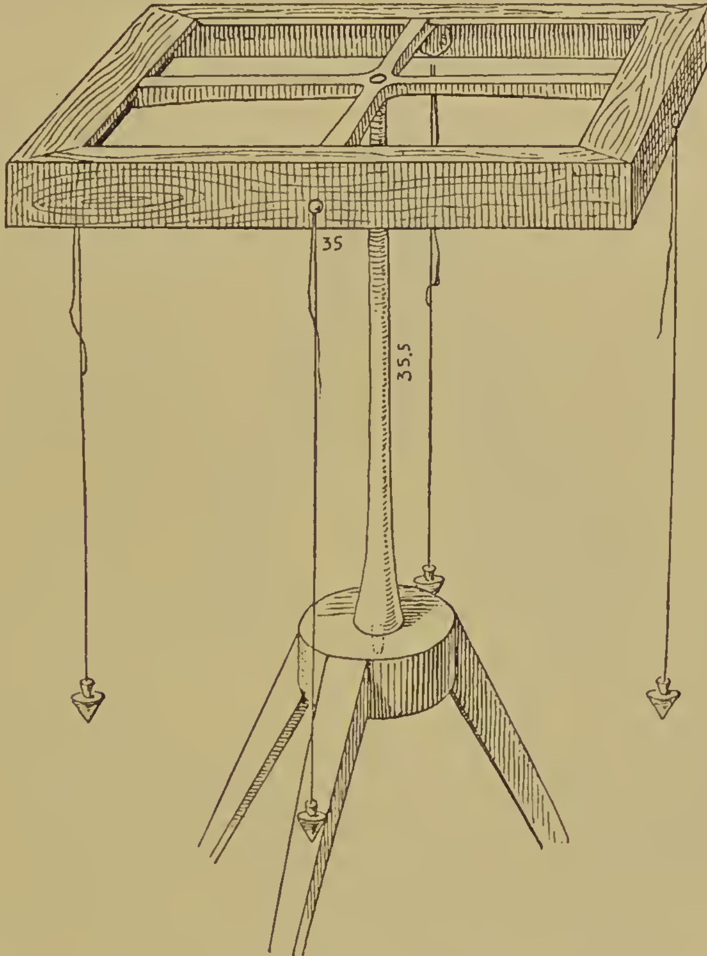


Abb. 32. Die Rekonstruktion der Groma.

Gebiete tätig gewesen ist. Hat doch Plinius ein von Cäsar verfaßtes und „de astris“ betiteltes Werk vielfach als Quelle für das XVIII. Buch seiner „Naturgeschichte“ benutzt. Cäsar hatte sich zwei große Aufgaben auf dem Gebiete der angewandten Mathematik gestellt. Er wollte den in die größte Verwirrung geratenen römischen Kalender verbessern und eine Vermessung des ganzen römischen Reiches ins Werk setzen.

Bis zum Jahre 46 v. Chr. hatte man in Rom nach dem Monde gerechnet und durch ziemlich regelloses Einschieben von

Schaltmonaten den Kalender den Jahreszeiten anzupassen gesucht. Der Fehler war indessen schließlich so groß geworden, daß um die Zeit Cäsars der Tag der Frühlingsnachtgleiche 85 Tage vor die wirkliche Nachtgleiche, also mitten in den Winter fiel. Nach der Rückkehr von dem ägyptischen Feldzug (47 v. Chr.) regelte Cäsar den Kalender unter Mitwirkung des alexandrinischen Astronomen Sosigenes. Es gelangte die Zeitrechnung zur Einführung, von der uns das Dekret von Kanopus schon Kunde gibt [1]). Das Jahr wurde nämlich in der Folge zu 365 Tagen gerechnet und im 4. Jahre, jedesmal vor dem 24. Februar, dem dies sextus ante calendas Martis, ein Tag als bissextus (daher auch annus bissextilis) eingeschaltet.

Die von Cäsar geplante Vermessung des römischen Reiches ist wahrscheinlich auch durch alexandrinische Gelehrte angeregt worden. Die Verpachtung der Provinzen, die Heereszüge und die Ausdehnung der Kriegs- und Handelsflotte ließen diese Arbeit als dringend erforderlich erscheinen. Da Cäsar indessen vorzeitig durch Mörderhand hinweggerafft wurde, blieb die Ausführung dem Augustus vorbehalten. Die Vermessung wurde nach fast dreißig jähriger Arbeit im Jahre 20 v. Chr. beendet. Sie besaß für Italien, Griechenland und Ägypten einen hohen Grad von Genauigkeit, während andere Länder nur durch Leute, die man Dimensoren nannte, ausgeschritten wurden. Ihr Ergebnis war eine gewaltige Karte, welche in einer, für diesen Zweck errichteten, Säulenhalle „der Welt die Welt als Schauspiel" darbot [2]). Bis auf den heutigen Tag erhalten ist eine der großen Wegekarten (Itinerarien) der Römer, die man für strategische Zwecke entwarf. Sie ist unter dem Namen der Tabula Peutingeriana bekannt, enthält die Heerstraßen für das ganze römische Reich und befindet sich in Wien [3]). Mit astronomischen Dingen haben sich die Römer erst verhältnismäßig spät und meist nur aus praktischen Gründen beschäftigt. Mit den Sonnenuhren wurden sie [4]) erst um die Mitte des dritten vorchristlichen Jahrhunderts, mit den Wasseruhren etwa ein Jahrhundert später bekannt, während die Chaldäer sich der Sonnenuhren schon 750 v. Chr. bedienten [5]).

---

1) S. S. 21 ds. Bds.

2) Plinius, hist. nat. III. 2.

3) Dieser Karte lag wahrscheinlich ein Itinerar aus dem 4. Jahrhundert n. Chr. zugrunde.

4) Plinius VII. 60. Siehe auch Bilfinger, Die antiken Stundenangaben. Stuttgart 1888. S. 75.

5) H. Löschner, Über Sonnenuhren. Beiträge zu ihrer Geschichte und Konstruktion. Graz 1905. Das Buch enthält zahlreiche Quellenangaben.

Wie die Mathematik und die Astronomie so wurde auch die Mechanik bei den Römern weniger ihrer selbst, als ihres praktischen Nutzens wegen gepflegt. Es erwuchs ein Gebiet, das eher die Bezeichung Ingenieurkunst oder Ingenieurmechanik verdient und bei den Römern zu hoher Blüte gedieh[1]). Als Beispiel hierfür möge die untenstehende Abbildung eines römischen Hebezeuges dienen[2]). Einen guten Einblick in die Ingenieurmechanik der Römer erhält man durch das den wenig zutreffenden Titel „Über die Architektur“ tragende Werk Vitruvs[3]). M. Vitruvius Pollio lebte zur Zeit des Augustus. Er befaßte sich besonders mit dem Bau von Kriegsmaschinen und wurde von Augustus mit der Leitung des Bauwesens betraut. Eine kurze Inhaltsangabe des Werkes von Vitruv möge uns den damaligen Stand des Wissens erläutern. Vitruv beginnt damit, daß er für den Ingenieur eine vielseitige wissenschaftliche Ausbildung verlangt. Er soll nicht nur in der Mathematik bewandert, sondern auch mit den Grundzügen des Rechtes und mit der Heilkunde vertraut sein. Komme doch letztere schon in Frage, wenn es sich um die Wahl passender und gesunder Bauplätze handle.

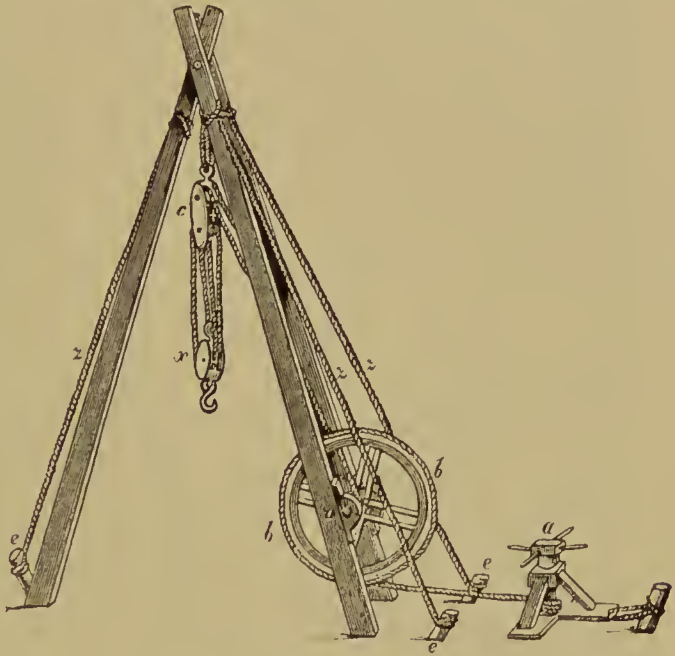


Abb. 33. Römisches Hebezeug.

Im zweiten Buche werden die Baumaterialien besprochen. Geschildert wird das Brennen und das Löschen des Kalkes. Auch die Puzzolanerde, die mit Kalk gemischt für Wasserbauten Verwendung fand, erwähnt Vitruv. Dann folgen Angaben über den Bau von Häusern, Tempeln, Bädern usw. In einem Abschnitte über

[1]) C. Merkel, Die Ingenieurmechanik im Altertum. Mit 261 Abbild. Springer, Berlin 1903.

[2]) Terquem, La science romaine à l'époque d'Auguste. Paris 1885. S. 75, Fig. 9.

[3]) Vitruvius, Zehn Bücher über die Architektur. Übersetzt von Reber. Stuttgart 1865.

die Wandmalerei werden als geeignete Farben Zinnober, Kupfergrün und Ocker genannt. Das achte Buch handelt von den Quellen und der Anlage von Wasserleitungen. Erwähnung finden auch bittere Quellen und Erdölquellen, sowie der Asphaltsee bei Babylon, welcher dort das Material für Mörtel lieferte. Im neunten Buch ist besonders von physikalischen und astronomischen Dingen die Rede, während das letzte von Pumpwerken, Feuerspritzen und anderen Maschinen handelt. Von den praktisch-physikalischen Instrumenten ist die Schnellwage, die auch heute noch den Namen der römischen Wage führt, wohl dasjenige, das die Römer selbständig erfunden haben und schon in der altrömischen Zeit anwandten[1]). Abb. 34 zeigt uns zwei in Pompeji gefundene Schnellwagen. Sie befinden sich, wie die Mehrzahl der in Pompeji gemachten Funde, im Nationalmuseum zu Neapel. Die Erfindung der römischen Wage reicht mindestens bis in das dritte Jahrhundert v. Chr. zurück. Das Laufgewicht wurde sehr oft künstlerisch gestaltet, indem man diesem Teil der Wage die Form einer Frucht (Granatapfel) oder einer Büste (Merkur) gab.

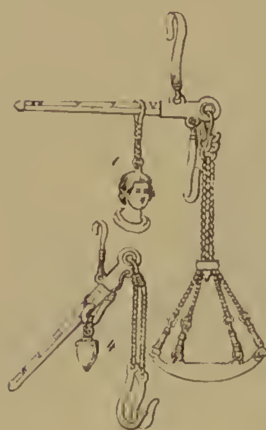


Abb. 34. Römische Schnellwagen.

Die Leistungen der Römer gingen auf den Gebieten der Architektur und der Ingenieurkunst (Brückenbau, Schiffsbau, Anlage von Wasserleitungen, Heerstraßen, kriegstechnischen Arbeiten) jedenfalls über das rein handwerksmäßige Schaffen hinaus. Diese Leistungen setzen nämlich wissenschaftlich und praktisch vorgebildete Architekten und Ingenieure voraus. Besondere Schulen, wie sie für Philosophie, Rhetorik, Jurisprudenz und Medizin bestanden, gab es für die Ingenieure zwar nicht. Wer das Ingenieurfach ergreifen wollte, wurde in jugendlichem Alter einem Fachmann in die Lehre gegeben. Voraussetzung für die Erlernung der Ingenieurkunst waren Kenntnisse in der Mathematik, der Optik, der Astronomie, Geschichte und im Rechtswesen. Während der Kaiserzeit wirkten in Rom neben den Lehrern für Rhetorik, Medizin usw. auch solche, die in der Mechanik und in der Architektur unterrichteten. Für Gehalt und Lehrsäle sorgte der Staat. Auch befreite er wohl die Väter, die ihre Söhne die Ingenieurkunst erlernen lassen wollten, von der Zahlung der Steuern.

[1]) Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. S. 56. Leipzig 1899. W. Engelmann.

Die gleiche Vergünstigung erhielten Ingenieure, die sich als Lehrer in ihrem Fache auszeichneten. Wie sehr man die Bedeutung der Ingenieure zu würdigen wußte, beweist folgende Stelle aus einem Briefe, den Kaiser Konstantin an einen seiner Statthalter richtete. Sie lautet: „Wir brauchen möglichst viele Ingenieure. Da es an solchen mangelt, veranlasse zu diesem Studium Personen, welche ungefähr 18 Jahre alt sind und die zur allgemeinen Bildung nötigen Wissenschaften bereits kennen gelernt haben. Befreie die Eltern von den Steuern und gewähre den Schülern ausreichende Mittel[1]).

Die Mechanik hatte also, wo es sich um praktische Anwendungen handelte, zur Zeit der Alexandriner und der Römerherrschaft schon manche Frucht gezeitigt. Anders stand es um die Mechanik als wissenschaftliche Disziplin. Welch unvollkommene Vorstellungen in mechanischen Dingen die meisten Schriftsteller des Altertums hegten, davon läßt sich manches Beispiel nachweisen. So erzählt Plinius folgendes von dem Schiffshalter (Echineis remora), einem Fisch des Mittelmeeres, der eine Anzahl Saugnäpfe auf der Stirn trägt, mit denen er sich an Schiffen und anderen Gegenständen festhält: „Mögen die Stürme wüten und die Wogen rasen, dieses kleine Geschöpf spottet ihrer Wut, zähmt ihre Kraft und zwingt ein Schiff zu stehen, wenn kein Tau und kein Anker dazu imstande sind. Und zwar hemmt es den Ansturm und bezwingt es die Elemente nicht durch eigene Arbeit oder Gegenwirkung, sondern einzig und allein dadurch, daß es sich anhängt".

Eine solche Unklarheit herrschte also bezüglich eines so einfachen mechanischen Begriffes, daß ein Schriftsteller wie Plinius, lange nachdem die ersten erfolgreichen Schritte auf dem Gebiete der Mechanik durch Archimedes getan waren, derartige Fabeln ohne Widerspruch aufnahm. Hierin zeigt sich aber auch, daß Archimedes auf das physikalische Denken der auf ihn folgenden Jahrhunderte einen nur geringen Einfluß ausgeübt hat. Das volle Verständnis für seine Werke, sowie die Fähigkeit, an das von ihm Geleistete anzuknüpfen und darauf weiterzubauen, scheint in den nächsten anderthalb Jahrtausenden mit geringen Ausnahmen gefehlt zu haben.

Das umfassendste Denkmal von den naturwissenschaftlichen Kenntnissen der Römer besitzen wir in der „Naturgeschichte" des Plinius. Das Werk enthält zahlreiche Angaben, die ohne die gewissenhaften Aufzeichnungen dieses Mannes verloren gegangen

[1]) C. Köhne, Die Ausbildung der Ingenieure in der römischen Kaiserzeit. Mitteil. z. Gesch. d. Medizin u. d. Naturw. 1907. S. 17.

wären. Es wurde, wie aus der Vorrede zu entnehmen ist, im 77. oder 78. Jahre n. Chr. vollendet.

Cajus Plinius Secundus Major wurde im Jahre 23 n. Chr. zu Como geboren. Obgleich er sich dem Kriegshandwerk gewidmet hatte und später, als er unter Nero und Vespasian höhere Ämter bekleidete, stets im Drange der Geschäfte lebte, fand dieser merkwürdige Mann doch Muße, das Wissen seiner Zeit in einem Sammelwerke zu umspannen. In der an Vespasian gerichteten Widmung sagt er von seinem Unternehmen: Der Weg, den ich wandeln werde, ist unbetreten; keiner von uns, keiner von den Griechen hat es unternommen, allein das Ganze der Natur zu behandeln. Gelingt mir mein Unternehmen nicht, so ist es doch großartig und schön, danach gestrebt zu haben".

Aus nicht weniger als 2000 Werken hat Plinius den Stoff für seine „Naturgeschichte" geschöpft. Seine Leistung verdient um so größere Anerkennung, als er nur die Stunden, die ihm die Geschäfte übrig ließen, also besonders, wie er selbst erzählt, die Nacht, auf sein Werk verwenden konnte. Ohne Plinius würden wir von manchen Schriften keine Kenntnis besitzen. Andererseits muß aber betont werden, daß Plinius sich nicht auf die Stufe selbständigen Forschens und Denkens erhebt. Er bringt sogar manches, was er offenbar nicht einmal richtig verstanden hat. Nicht selten wird Wahres und Falsches von ihm miteinander vermengt. Man gewinnt den Eindruck, daß Plinius sein Wissen weniger aus der Natur, sondern vorzugsweise aus Büchern geschöpft hat, was bei einem Manne, der schon einen Spaziergang als Zeitvergeudung betrachtete, nicht wundernehmen kann.

Bekannt ist das traurige Ende des Plinius. Als er sich mit einer von ihm befehligten Flotte im Jahre 79 n. Chr. in der Nähe von Neapel aufhielt, begann plötzlich jener furchtbare Ausbruch des Vesuv, durch den Herculanum und Pompeji vernichtet wurden. Der unerschrockene Römer ließ sich nicht abhalten, der Stätte des Verderbens zuzueilen; mag ihn nun Pflichtgefühl oder Wißbegierde dazu getrieben haben. Nach der Landung ist er dann der Wut des entfesselten Elementes zum Opfer gefallen.

In seiner „Naturgeschichte", die 37 Bücher umfaßt, stellt sich Plinius die Aufgabe, das zerstreute Wissen seiner Zeit zu sammeln und zu sichten. Durch die mühevolle Lösung dieser Aufgabe hat er sich ein großes Verdienst erworben, wenn er auch oft kritiklos zusammenträgt und den Stoff nicht immer beherrscht. So hält er beispielsweise die fabelhaftesten Nachrichten über afrikanische

Völker für erwähnenswert. Er berichtet z. B. von einem dieser Volksstämme, seine Angehörigen besäßen keine Köpfe, sondern trügen Mund und Augen auf der Brust. Der Grundgedanke, welcher das Werk durchzieht, ist der, daß die Natur des Menschen wegen alles erzeugt zu haben scheine. Die beschriebenen Naturkörper werden daher kaum als solche, sondern vorzugsweise in ihrer Beziehung zum Menschen betrachtet[1]). Über den Menschen selbst spricht er sich in folgenden, für ihn charakteristischen Worten aus: „Die anderen Tiere fühlen sich sogleich im Besitz ihres Wesens. Nur der Mensch kann nichts ohne Unterweisung. Er allein kennt Ehrgeiz, Habsucht, sorgt für sein Grab, ja sogar für die Zukunft nach seinem Tode. Keinem Geschöpf raubt die Angst so die Besinnung. Bei keinem wird die Wut heftiger. Alle anderen Tiere leben mit ihresgleichen in Frieden. Die Löwen kämpfen trotz ihrer Wildheit nicht gegeneinander, ebensowenig die Seeungeheuer. Aber fürwahr, dem Menschen schafft das größte Leid der Mensch[2]).

Aus dem reichen Inhalt der „Naturgeschichte“ mögen noch folgende Punkte, welche den damaligen Stand des Wissens kennzeichnen, hervorgehoben werden. Zu der Lehre von der Kugelgestalt der Erde ist die Ansicht getreten, daß das Menschengeschlecht viel weiter verbreitet sei, als man früher glaubte, ja, daß es Gegenfüßler geben müsse. „Die Wissenschaft und die Meinung des großen Haufens“, sagt Plinius[3]), befinden sich in gewaltigem Widerspruch. Jener zufolge wird die Erde ringsum von Menschen bewohnt, so daß sie mit den Füßen gegeneinander stehen und den Himmel alle gleichmäßig über dem Scheitel haben. Nach der anderen Meinung fragt man, weshalb denn die Antipoden nicht abfielen. Als ob nicht die Gegenfrage zur Hand wäre, warum jene sich nicht verwundern, daß wir nicht abfallen. Am meisten aber sträubt sich der große Haufe, wenn man ihm glaublich machen will, daß auch das Wasser gewölbt sei. Und doch ist nichts augenfälliger, denn überall bilden hängende Tropfen sich zu kleinen Kugeln“.

Aus der Tatsache, daß der längste Tag in Alexandrien 14, in Italien 15 und in Britannien 17 Stunden hat, folgert Plinius, daß die dem Pol benachbarten Länder im Sommer 24 Stunden

[1]) Als Beispiel diene der 6. Abschnitt von Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher. Leipzig, W. Engelmann. 1908.

[2]) Plinius, VII. 1.

[3]) Plinius, Naturgeschichte II, 65.

Tag, zur Zeit des Wintersolstitiums dagegen ebensolange Nacht haben müssen[1]). Bei Plinius finden wir unter den Beweisen für die Krümmung der Erdoberfläche auch die Erscheinung angeführt, daß auf dem Meere zuerst der Mast der Schiffe und erst später der Rumpf sichtbar wird.

Während zur Zeit der römischen Weltherrschaft die Lehre von der Kugelgestalt der Erde zu einem Gemeingut der Gebildeten geworden war, hat man nur vereinzelt eine richtige Auffassung vom Verhältnis der Sonne zu den Planeten gehegt. So blieben die bei den Griechen entstandenen Keime der heliozentrischen Lehre bei den späteren Schriftstellern nicht unbeachtet. Koppernikus konnte seine Lehre daher unmittelbar an die aus dem Altertum überlieferten Anschauungen anknüpfen[2]).

Dem Monde und sogar den Fixsternen, denen wir heute keine nachweisbaren Einflüsse auf irdische Vorgänge beimessen, schrieben die Römer, wie wir aus der „Naturgeschichte" des Plinius ersehen, solche zu. So heißt es dort[3]): „Daß beim Aufgang des Hundes der Einfluß dieses Gestirns auf die Erde in der weitesten Ausdehnung empfunden wird, wer wüßte das nicht? Bei seinem Aufgang schäumt das Meer, der Wein wird unruhig in den Kellern und die Sümpfe beginnen zu gären". Daß der Mond bei der Erregung von Ebbe und Flut eine wichtige Rolle spielt, hatte man wohl erkannt, doch erklärte man diese Erscheinung in einem durchaus mystischen Sinne, indem man den Mond als das Gestirn des Odems ansah. Daher sollten sich bei der Annäherung des Mondes alle Körper füllen. Plinius behauptet sogar, daß bei zunehmendem Monde die Muscheln größer würden. Ja, auch das Blut im menschlichen Körper mehre und mindere sich, wie das Licht dieses Gestirnes[4]). „Ebbe und Flut des Meeres", sagt Plinius, „haben bei aller Abwechselung doch ihre Ursache nur in der Sonne und in dem Monde. Indessen treten die Gezeiten nie wieder zu derselben Stunde ein wie am Tage zuvor, weil sie dem gierigen Gestirn, das alle Tage an einer anderen Stelle aufgeht, gewissermaßen dienstbar sind. Bei Vollmond ist die Flut am heftigsten. Auch tritt die Flut zwei Stunden später ein, als sich der Mond aus der Mittagslinie abwärts senkt,

---

1) Plinius, Naturgeschichte II. 75.

2) Koppernikus erwähnt, er habe bei Cicero und Plutarch gelesen, daß die heliozentrische Lehre im Altertum Anhänger gefunden habe. Copernicus, De revolutionibus (Ausg. v. Curtze). S. 6.

3) Plinius, Naturgeschichte. II. 40.

4) A. a. O. II. 99.

da die Wirkungen aller Erscheinungen am Himmel erst später zur Erde gelangen, als die Erscheinungen selbst stattfinden. Die offene große Fläche des Meeres empfindet die Macht des weithin wirkenden Gestirns nachdrücklicher als engbegrenzte Räume. Daher werden weder Seen noch Flüsse auf solche Weise in Bewegung versetzt“ [1]).

Die Zahl der Sterne, welche die Astronomen mit Namen bezeichnet hatten, gibt Plinius auf 1600 an [2]). Sie sollen aus dem das All umgebenden Feuer entstanden sein und werden nach ihm von der belebenden, alle Räume durchdringenden Luft getragen, die sich dem Feuer am nächsten befindet. Von der Luft getragen, schwebe auch die Erde, verbunden mit dem Wasser als viertem Element, im Raume. Zwischen der Erde und dem Himmelsgewölbe schweben der Mond, die Sonne und die fünf Planeten. Ihrer Bewegung wegen würden diese wohl die Irrsterne genannt, obgleich keine weniger irrten als gerade sie.

Das ist in großen Zügen das Weltbild, das sich das Altertum gebildet. In dieser Vorstellung gab es keinen Raum mehr für die anthropomorphen Götter der früheren Zeit, an denen das Volk unter der Führung der Priester festhielt. Ein unüberwindlicher Zwiespalt zwischen Wissen und Glauben war somit auch im Altertum das Ergebnis der ganzen geistigen Entwicklung. Dem Fortschreiten der Erkenntnis hat sich indessen stets der religiöse Glaube anzupassen gesucht. So hat im Altertum der Gang der Wissenschaft einer neuen monotheistischen Gestaltung der Religion vorgearbeitet. Hatten in dem gewonnenen Weltbilde die vielen Gottheiten der früheren Zeit keinen Raum mehr, so mußte, wie Plinius es ausspricht, die Welt selbst als Gottheit gelten. Dem pantheistischen Standpunkte des Plinius entspricht seine Auffassung, daß, wenn man von einer Gottheit rede, damit nur die Natur gemeint sein könne. Von der Auffassung der Welt als Einheit zu dem Glauben, daß die Welt zwar nicht als Gott selbst, wohl aber als die Manifestation eines einzigen Gottes aufzufassen sei, war aber nur ein Schritt. Und dieser führte in dem Zeitalter, von dem wir handeln, zur Begründung des Monotheismus. Weil der alte Götterglauben für den Gebildeten überwunden war, fehlte es an einem innerlichen Verhältnis zwischen Gott-Natur und dem Menschen. Daher das Unbefriedigte und der pessimistische Grund-

[1]) A. a. O. II. 97.
[2]) A. a. O. XI. 3.

zug, welcher der christlichen Religion in jener Zeit den geeignetsten Boden bereitete. Bezeichnet es doch Plinius als den einzigen Trost gegenüber der Unvollkommenheit des Daseins, daß der Mensch diesem Dasein jederzeit freiwillig entsagen könne.

Auf dem Gebiete der beschreibenden Naturwissenschaften finden wir bei Plinius einen entschiedenen Rückgang gegen Aristoteles und Theophrast. Manche zoologische Mitteilung älterer Schriftsteller, die Aristoteles in das Gebiet der Fabel verwiesen hatte, nimmt Plinius unbedenklich wieder auf. Von einem systematischen Aufbau der Zoologie und der Botanik ist bei ihm nicht die Rede. Bezüglich der letzteren bleibt er noch hinter Theophrast zurück, da er bei der Einteilung der Pflanzen den reinen Nützlichkeitsstandpunkt einnimmt. Er unterscheidet nämlich Arzneipflanzen, Spezereien usw. Eine richtige Auffassung finden wir bei Plinius bezüglich derjenigen Tiere, die Aristoteles „Blutlose" genannt hatte. „Daß die Insekten kein Blut haben", sagt er, „gebe ich zu, doch besitzen sie dafür eine gewisse Lebensfeuchtigkeit, die für sie Blut ist."

Seine der Botanik gewidmeten Bücher beginnen mit den Bäumen. Nicht etwa, daß er in ihnen die höchste Stufe pflanzlicher Organisation erblickt hätte, sondern weil sie zuerst die einfachsten Bedürfnisse des Menschen befriedigten. Zunächst bespricht er (12. u. 13. Buch) die bemerkenswerteren fremden Bäume nach ihrem geographischen Vorkommen. Dann handelt er vom Weinstock, vom Ölbaum und von den Obstbäumen. Ein Buch ist den Zierpflanzen und den Bienenpflanzen gewidmet. Letztere unterscheidet er in empfehlenswerte und in solche, die den Honig verderben.

Am ausführlichsten werden die Arzneipflanzen behandelt. Plinius ist dabei von dem Gedanken durchdrungen, daß auch das unscheinbarste Kraut seine, wenn auch oft noch verborgenen, Heilkräfte haben müsse, da die Natur alles in bezug auf den Menschen geschaffen habe.

Die Hauptquelle für die botanischen Kenntnisse des Plinius ist Theophrast. Eigene Beobachtungen kann er in Anbetracht seiner oben erwähnten Lebensweise kaum gemacht haben. Wenn er gelegentlich in seinem Werke von Erfahrungen spricht, so ist damit wohl in den meisten Fällen ihm mündlich zuteil gewordene Auskunft gemeint. Die Zahl der bei Plinius vorkommenden Pflanzen ist eine recht beträchtliche. Sie beläuft sich auf nahezu tausend, etwa das Doppelte der von Dioskorides aufgezählten Arten[1]). Es

[1]) E. Meyer, Geschichte der Botanik. 4 Bände. 1854.

entspricht das zwar dem enzyklopädischen Grundzug des Plinius, verdient aber immerhin Beachtung, wenn wir bedenken, daß Linné den Pflanzenreichtum der ganzen Erde auf nur 10000 Arten schätzte.

Für die Beschäftigung mit den Tieren und den Pflanzen waren bei den Römern, wie in der alexandrinischen Akademie, in erster Linie medizinische und landwirtschaftliche Gesichtspunkte maßgebend. Wichtig war es auch, daß man sich über die Bedenken hinwegsetzte, die bis dahin von einem Eindringen in den Bau und die Verrichtungen des menschlichen Körpers abgehalten hatten. Schon bald nach Aristoteles, dessen anatomisches Wissen, wie wir sahen, wenigstens in bezug auf den Menschen, noch gering war, unterschied man Arterien und Venen. Auch bemerkte man, daß ihre Verzweigungen dicht nebeneinander liegen. Da man die Arterien jedoch beim Zerschneiden des toten Körpers leer fand, so glaubte man, daß es ihre Aufgabe sei, im lebenden Organismus Luft zu führen. Zu einer zwar noch mit vielen Unrichtigkeiten durchsetzten Vorstellung von der Bewegung des Blutes, deren wahren Verlauf erst Harvey im 17. Jahrhundert erkannte, kam der römische Arzt Galen[1]) (131–201 n. Chr.). Galen wurde in Pergamon geboren. Er empfing seine Ausbildung in Griechenland, übte aber die ärztliche Kunst in Rom aus (von 164—201 n. Chr.) und hielt dort auch Vorlesungen über Anatomie, für die er schätzenswerte Beiträge auf Grund zootomischer Untersuchungen lieferte. Galen erkannte die Anatomie und die Physiologie als die Grundlagen der Heilkunde und bemühte sich schon, physiologische Fragen auf experimentellem Wege zu entscheiden[2]). Die Bewegung des Blutes schildert er folgendermaßen, wobei wir uns der heutigen Bezeichnungsweise bedienen wollen[3]): „Durch die Venen gelangt das Blut zum rechten Teile des Herzens. Mittelst der Wärme des Herzens werden die noch brauchbaren Teile von den unbrauchbaren geschieden. Die letzteren werden durch die Lungenarterie zu den Lungen geführt und beim Ausatmen entfernt, während gleichzeitig die Lungen Pneuma aus der Atmosphäre anziehen[4]). Das Pneuma gelangt durch die Lungenvenen zum linken Herzen, verbindet sich

[1]) Galen fußte besonders auf Erasistratus, einem der bedeutendsten Anatomen der vorchristlichen Zeit (geb. 280 v. Chr.), der auch den Bau des Gehirns untersucht haben soll. Sein Zeitgenosse Herophilus lieferte eine genaue Beschreibung des Auges.

[2]) Hirsch, Geschichte d. Medizin. S. 10.

[3]) H. Haeser, Lehrbuch d. Gesch. d. Medizin. Jena 1853. Bd. I. S. 154.

[4]) Galen meint, daß man den belebenden Bestandteil der Luft, den er als Pneuma bezeichnet, später noch entdecken werde.

hier mit dem Blut, das durch die Herzscheidewand treten sollte, und wird alsdann durch die Aorta in alle Teile des Körpers und endlich wieder in die Venen zurückgeführt."

Von dem großen Kreislauf des Blutes hatte Galen[1]) also schon eine Vorstellung, während ihm unbekannt blieb, daß die ganze Masse des Blutes nach Vollendung dieses Kreislaufs durch die Lungen getrieben wird. An die Stelle einer richtigen Auffassung von der Rolle des Luftsauerstoffes, die erst durch die fortschreitende Einsicht in den chemischen Prozeß ermöglicht wurde, tritt bei Galen die Annahme des mystischen Pneumas. Darunter dachte man sich nicht die Luft selbst, sondern ein ihr innewohnendes, belebendes Prinzip.

Über die Fortschritte, welche die Anatomie zur Zeit der Römerherrschaft erfahren, gibt uns das Werk Galens die beste Auskunft[2]). Es verdient auch deshalb besondere Beachtung, weil es die einzige ausführliche, aus dem Altertum vorhandene Darstellung der Anatomie ist. Galen beginnt mit der Anatomie des Gehirns und der daraus entspringenden Nervenpaare. Es folgt die Beschreibung des Auges, der Zunge und der Lippen. Die

1) Galen war ein außerordentlich fruchtbarer und vielseitiger Schriftsteller. Man kennt (nach Christ, Geschichte der griech. Literatur, S. 630) mehr als 350 Galensche Schriften, von denen 118 echte und 45 zweifelhafte erhalten sind. Die meisten sind medizinischen Inhalts. Geschätzt war vor allem eine kurz gefaßte Therapeutik (*τέχνη ἰατρική*), die im Mittelalter unter dem Namen Mikrotechnikum bekannt war. Außerdem hat Galen auch Schriften philosophischen und grammatischen Inhalts verfaßt, z. B. Kommentare zu Platons Timaeos, zu Aristoteles und zu Theophrast. Die Hauptausgabe der Galenschen Schriften ist die Aldina (1525); ed. Chartrier, Paris 1679.

2) Galenos. Sieben Bücher Anatomie des Galen. *ΑΝΑΤΟΜΙΚΩΝ ΕΓΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΒΙΒΛΙΟΝ Θ - ΙΕ.* Zum ersten Male veröffentlicht nach den Handschriften einer arabischen Übersetzung des 9. Jahrh. n. Chr., ins Deutsche übertragen und kommentiert von Dr. med. Max Simon. I. Band: Arabischer Text. Einleitung zum Sprachgebrauch, Glossar mit zwei Faksimile-Tafeln. LXXXI + 362 S. gr. 8⁰ u. 2 Tafeln. II. Band: Deutscher Text. Kommentar, Einleitung zur Anatomie des Galen. Sach- und Namenregister. — Leipzig, J. C. Hinrichs, 1906. LXVIII + 366 S. gr. 8⁰. Bd. I. M. 36; Bd. II. M. 24; beide Bände zusammen M. 45.

Die ersten 8 Bücher von Galens Anatomie sind im griechischen Urtext bekannt. In ihnen werden die Gliedmaßen, Kopf, Hals, Rumpf, die Organe der Verdauung und die Atmungswerkzeuge beschrieben. Das 9.—15. Buch, die Simon nach der arabischen Handschrift herausgegeben hat, waren bisher so gut wie unbekannt. Das 9. Buch bringt die Beschreibung des Gehirns. Im 10. werden die Augen, die Zunge und die Speiseröhre, im 11. der Kehlkopf,

Bewegung wird aus dem Verhalten der Muskeln erklärt, von denen Galen angibt, daß sie sich zusammenziehen und wieder erschlaffen [1]). Zu sehr wichtigen physiologischen Ergebnissen gelangte Galen, weil er sich als einer der ersten des vivisektorischen Experiments bediente. So finden wir in seinem Buche die Wirkungen geschildert, welche das Durchschneiden des Glossopharyngeus (Zungenschlundkopfnerv), des Seh- und des Gehörnerven zur Folge hat. Von besonderem Interesse sind die an dem Zungenschlundkopfnerven vorgenommenen Experimente. Galen erwähnt, daß sich auf jeder Seite der Zunge zwei Nerven befinden. Schneide man das eine Paar durch, so sei die ganze Zunge der willkürlichen Bewegung beraubt, während die Durchschneidung nur eines dieser Nerven nur die Hälfte der Zunge lähme [2]). Das zweite Nervenpaar, sagt Galen weiter, vereinige sich nicht mit den Muskeln, sondern verteile sich in der Decke der Zunge und vermittle die Empfindung. „Der Nerv bringt die Geschmacksempfindung vom Gehirn herab," heißt es bei ihm. Hervorzuheben ist auch Galens Beschreibung des Lidhebemuskels und ganz besonders seine anatomische Untersuchung der Nerven und Muskeln des Kehlkopfs, eine Untersuchung, bei der es ihm vor allem auf die Feststellung des Wesens der Stimmbildung ankam.

Ein Buch Galens handelt von den Venen und den Arterien, ein zweites von den Fortpflanzungsorganen. Auch der Fötus mit seinen Hüllen und der Plazenta wird beschrieben.

War es für die Entwicklung der Medizin von großer Bedeutung, daß ein Galen in einem umfassenden Lehrgebäude das Ganze der griechischen Heilkunde zur Darstellung brachte, so

im 12. die Geschlechtsorgane beschrieben. Buch XIII. handelt von den Gefäßen, Buch XIV und XV von den Nerven. Es handelt sich in diesen sieben Büchern fast überall um eigene anatomische Untersuchungen am lebenden und toten Tiere, wobei stets auf den Menschen Bezug genommen wird. An manchen Stellen wird der berühmte alexandrinische Anatom Erasistratos zitiert. Ausdrücklich wird gefordert, daß jeder, der über Anatomie liest, es nicht versäumen solle, die einzelnen Dinge am Tierkörper mit eigenen Augen anzusehen.

[1]) Bd. II der Ausgabe von Simon. S. 45.

[2]) Bd. II (Ausg. v. Simon). S. 94.

Die sieben Bücher Anatomie des Galen wurden von Simon nach einer arabischen Übersetzung aus dem 9. Jahrh. veröffentlicht.

Der häufig anzutreffende Zusatz Klaudios zu Galenos ist nicht berechtigt. Der große Arzt ist nicht Klaudios Galenos, sondern nur Galenos zu benennen. Siehe Mitteil. zur Gesch. d. Med. und Naturwissenschaft. 1902. S. 3.

war es von rein wissenschaftlichem Standpunkt das Verfahren Galens, das unser höchstes Interesse beansprucht. War er es doch, der zuerst in größerem Umfange durch seine an lebenden Tieren ausgeführten Untersuchungen sich der Erforschung der Verrichtungen des Organismus zuwandte. Mit Recht verdient deshalb Galen als der Begründer der experimentellen Physiologie bezeichnet zu werden[1]). Erwähnt sei noch, daß Galen, wie Jahrhunderte vor ihm die Verfasser der hippokratischen Schriften, auf die hygienisch-diätetische Seite der Heilkunde großen Wert legte. Galen hat eingehend seine Ansichten über die Wirkung der Luft und der Nahrungsmittel entwickelt und auch Schlaf und Wachen, Ruhe, Bewegung und Gemützustände vom ärztlichen Standpunkte aus gewürdigt. In dieser prophylaktischen Richtung folgte ihm im Mittelalter die Schule von Salerno[2]). Erst dadurch, daß Galen zu einem im ganzen richtigen Verständnis des Wesens der Muskeln, Sehnen und Nerven gelangte, wurde die Heilkunde auf die Stufe einer Wissenschaft emporgehoben. Vor allem war es die Chirurgie, die aus der gewonnenen Einsicht in den anatomischen Bau des Körpers Nutzen zog. Die Zoologie und die Botanik büßten dagegen im Vergleich zu der Behandlung, die Aristoteles und Theophrast diesen Gebieten angedeihen ließen, an Wissenschaftlichkeit erheblich ein und wurden nur noch mit Rücksicht auf das medizinische Bedürfnis gefördert. So entstand, kurz bevor Plinius schrieb, die Arzneimittellehre des Dioskorides[3]). In ihr finden wir etwa 600 Pflanzen erwähnt, die indes so oberflächlich beschrieben sind, daß es meist schwer hält, die Arten mit Sicherheit zu erkennen.

Bei Dioskorides finden wir nämlich als einen Grundzug, der uns bei den naturwissenschaftlichen Schriftstellern des Mittelalters wieder begegnet, daß man dem Wort eine fast größere Bedeutung zuschrieb als dem Dinge selbst. Genaue Überlieferung der Namen, möglichst vollständige Aufzählung der Synonyme, der

---

1) Häser, Geschichte der Medizin. Bd. I (1875). S. 364.

Unter anderem hat Galen schon versucht, sich eine Vorstellung von dem Sitz der einzelnen Funktionen des Gehirns zu machen, indem er die Gehirnmasse schichtenweise abtrug. Siehe Falk, Galens Lehre vom Nervensystem. Leipzig. 1871.

2) Näheres siehe Gerster-Braunfels, Abriß der Geschichte der Jatrohygiene vom Altertum durchs deutsche Mittelalter bis zur Neuzeit.

3) Dioskorides lebte im 1. Jahrhundert n. Chr. Er war Grieche und besuchte als Arzt im Gefolge römischer Heere viele Länder. Seine Werke wurden griechisch und lateinisch von Sprengel herausgegeben. Leipzig 1829.

volkstümlichen und der Geheimbezeichnungen nehmen in jenen Schriften den ersten Platz ein. Ja, es gab Schriftsteller, deren Hauptgegenstand die Nomenklatur der Pflanzen und im Anschluß daran angestellte Betrachtungen über Besonderheiten der Grammatik und der Synonymik war[1]). Die Botanik berücksichtigte Dioskorides nur insoweit, als es sein Zweck erforderte. Die bei manchem seiner Vorgänger übliche alphabetische Anordnung der Pflanzen verwarf er, um sie nach ihm natürlich erscheinenden Gruppen zusammenzustellen. Doch begegnete ihm dabei mancher Mißgriff. Auch ist es schwer, zu entscheiden, was er selbst gefunden und was er seinen Vorgängern entlehnt hat.

Das Werk des Dioskorides blieb für das gesamte Mittelalter und noch darüber hinaus von großer Bedeutung. „Was einer späteren Zeit“, sagt Meyer in seiner Geschichte der Botanik[2]), „Linnés Systema naturae wurde, das war für jene Zeit die Arzneimittellehre des Dioskorides; nur mit dem Unterschiede, daß man auf Linnés Werk fortzubauen nicht lange säumte, auf dem des Dioskorides dagegen wie auf einem Ruhekissen schlummerte“. Indessen galt Dioskorides nicht nur für das Mittelalter als unanfechtbare Autorität auf dem erwähnten Gebiete, sondern die Begründer der neueren Botanik knüpften im Anfange des 16. Jahrhunderts vielfach an ihn an. Sie waren dabei von dem Bemühen geleitet, die von Dioskorides beschriebenen Pflanzen wieder aufzufinden, wodurch die Liebe zur Natur zu neuem Leben erweckt wurde.

Während die Griechen sich auf dem Gebiete der Pflanzenkunde mehr als Theoretiker erwiesen, haben die Römer, ihrem auf das Nützliche gerichteten Sinne entsprechend, vorzugsweise die angewandte Botanik gefördert[3]). Eine Anregung dazu empfingen sie von den Karthagern. Dort entstand schon im 6. Jahrhundert v. Chr., also lange vor den griechischen Georgikern, Magos Werk über die Landwirtschaft, das der römische Senat ins Lateinische übersetzen ließ. Die Bedeutung der Karthager auf diesem Gebiete ist wohl auf ihre Abhängigkeit von der phönizischen Kultur zurückzuführen[4]). Der Sinn für die Pflanzenkunde wurde bei den Römern auch dadurch gefördert, daß sie sich mit besonderer Vorliebe dem Gartenbau zuwandten. So kamen bei ihnen auch die Fensterbeete auf, welche

---

1) E. Meyer, Geschichte der Botanik. Bd. II. S. 113.

2) Bd. II. S. 94.

3) O. Warburg, Geschichte der angewandten Botanik (Berichte der Deutsch. bot. Gesellsch. XIX. [1901]. S. 159).

4) Warburg, a. a. O.

die jungen Pflanzen vor Kälte schützten, aber durch ihre Marienglasscheiben die Sonnenstrahlen hindurchließen[1]).

Berühmt waren die Gärten, welche Kaiser Hadrian bei seinem Landsitz in Tibur, dem heutigen Tivoli, unterhielt. Auch die Landsitze, mit denen die römischen Großen die felsigen Gestade des Mittelmeers umsäumten, erhielten reichen gärtnerischen Schmuck. Die römischen Gärten wiesen jedoch auch manche Künsteleien auf, so daß sich Stimmen erhoben, die, wie z. B. Horaz, die Rückkehr zur Natur predigten. Eins der besten Werke über die Landwirtschaft verfaßte M. Porcius Cato, der durch den Adel seiner Gesinnung und durch sein Bemühen, die Römer zur Einfachheit und Sittenreinheit zurückzuführen, bekannt gewordene Zensor. Das Werk[2]) beginnt mit dem Lobe des Landbaues und enthält Vorschriften über die Obstzucht, den Anbau des Getreides und die Pflege anderer nützlicher Gewächse. Cato führt schon sechs verschiedene Birnensorten auf[3]). Vom medizinischen Standpunkte aus hat sich auch der als Anatom und Arzt zu großer Berühmtheit gelangte Galen mit den Pflanzen beschäftigt. Auf seinen Reisen, die ihn nach Griechenland, Kleinasien, Ägypten und Palästina führten, bemühte er sich, alle Pflanzen, denen man Heilwirkungen zuschrieb, an ihrem natürlichen Standorte zu beobachten und zu sammeln. Welchen Wert man diesem Gegenstande beimaß, geht auch daraus hervor, daß die römischen Kaiser jener Zeit Kräutersammler auf Kreta unterhielten, weil die Arzneipflanzen jener Insel besonders hoch geschätzt wurden. Galen bekämpfte diese Meinung und vertrat die Ansicht, daß Italien ebenso wirksame Arzneipflanzen beherberge.

Durch manchen archäologischen Fund ist unsere Zeit mit den Pflanzen selbst bekannt geworden, mit denen sich das Altertum beschäftigte. Zu den Funden, welche die Mumiensärge Ägyptens lieferten, sind vor allem die pflanzlichen Reste getreten, die bei der Ausgrabung Pompejis zutage gefördert wurden. Sie sind im Nationalmuseum in Neapel aufbewahrt und zum Teil so gut erhalten, daß sie identifiziert werden konnten[4]).

---

1) Seneca erwähnt solche Beete als neuere Erfindung.

2) Cato, De re rustica. Eine Ausgabe rührt von Keil (1892) her. Cato starb 149 v. Chr.

3) Auch Marcus Terentius Varro, der zur Zeit Ciceros lebte, schrieb ein Buch über die Landwirtschaft. Varros „De re rustica“ wurde 1884 gleichfalls von Keil herausgegeben.

4) L. Wittmack. Die in Pompeji gefundenen pflanzlichen Reste. Englers Botanische Jahrbücher. 33. Bd. (1903) S. 38—63. Identifiziert wurden

Den Übergang von Kulturpflanzen und Haustieren aus Asien nach Europa behandelt Victor Hehn auf Grund der Angaben der griechischen und römischen Schriftsteller. In seinem Buche konnten, als es 1870 zuerst erschien, die wesentlichsten Ergebnisse der ägyptologischen und assyriologischen Forschungen noch nicht berücksichtigt werden. Die neueren Auflagen des seinerzeit epochemachenden Buches von Hehn haben sich darin nur wenig geändert. Es ist das Verdienst Hehns, zuerst nachdrücklich darauf hingewiesen zu haben, daß die Fauna und die Flora der Kulturländer durch die Einwirkung des Menschen ganz wesentlich umgestaltet wurden. Dabei bediente sich Hehn indessen noch vorwiegend der rein philologischen Untersuchung. Daß z. B. das Huhn erst verhältnismäßig spät in Vorderasien und in Europa bekannt wurde, schließt Hehn daraus, daß dieses Tier im alten Testamente nicht erwähnt wird und sich auch nicht auf den ägyptischen Wandgemälden findet, die im übrigen alles, was den Haushalt der alten Ägypter betrifft, vor Augen führen. In bezug auf Italien kommt Hehn zu dem allgemeinen Ergebnis, daß seine Pflanzenwelt unter dem Einfluß des Menschen immer mehr einen südlichen und asiatischen Charakter angenommen habe[1]). Meldet doch Plinius, daß z. B. der Kirschbaum erst durch Lucullus von der pontischen Küste nach Italien verpflanzt sei.

Ein besonderes Interesse, das mitunter selbst gekrönte Häupter beherrschte, wandte man im Altertum der Erforschung giftiger Pflanzen zu. König Attalos von Pergamon, so erzählt uns Plutarch[2]), baute giftige Gewächse, wie Bilsenkraut, Nieswurz, Schierling, Sturmhut, und machte ein besonderes Studium daraus, ihre Säfte kennen zu lernen und zu sammeln. Überhaupt wetteiferte Pergamon eine Zeitlang, was Pflege der Wissenschaften anbetraf, mit Alexandrien.

---

unter anderem: Allium Cepa, Amygdalus communis, Castanea vesca, Corylus Avellana, Iuglans regia, Lens esculenta, Olea europaea, Panicum italicum, Panicum miliaceum, Phoenix dactylifera, Pinus Picea, Pisum sativum, Prunus Persica, Triticum vulgare, Vicia Faba, Vitis vinifera

Es handelt sich bei diesen Resten um Samen und Früchte.

Auf den Wandgemälden Pompejis sind etwa 50 Pflanzen dargestellt, die sich identifizieren ließen, während dies bei manchen nicht möglich war, Comes, Darstellung der Pflanzen in den Malereien von Pompeji. Stuttgart 1895.

[1]) V. Hehn, Kulturpflanzen und Haustiere in ihrem Übergange aus Asien. Berlin 1902. S. 520.

[2]) Plutarch, vita Demetrii.

Außer Plinius sind insbesondere noch zwei andere römische Schriftsteller zu nennen, die über die Naturwissenschaften geschrieben haben, Lukrez und Seneca. Lukretius Carus (er starb 55 v. Chr.) hat seine naturphilosophischen, auf Epikur zurückgreifenden Anschauungen in einer Schrift entwickelt, die manche beachtenswerte Stelle enthält. Sie führt den Titel „De natura rerum" und wurde unter den literarischen Erzeugnissen der voraugusteischen Zeit stets hochgeschätzt.

Nichts entsteht aus nichts, sagt Lukrez mit Demokrit und Epikur, wenn selbst die Götter es wollten. Sondern die Natur erzeugt stets das eine aus dem andern. Die Dinge läßt Lukrez aus unsichtbaren Teilchen bestehen. Sonst sei z. B. das allmähliche Dünnerwerden der im Gebrauch befindlichen, metallenen Gegenstände ganz unerklärlich. Da bei absoluter Raumerfüllung Bewegung unmöglich sei, so müsse man annehmen, die Teilchen seien nicht dicht zusammengedrängt, sondern durch leere Zwischenräume geschieden. Alles sei ferner schwer. Im leeren Raume müsse selbst die Flamme schwer sein. Ihr Emporsteigen sei dadurch bedingt, daß der Lufthauch sie trotz ihrer natürlichen Schwere in die Höhe treibe, wie ja auch das schwere Holz im Wasser emporschnelle. Schall, Licht und Wärme sind für Lukrez körperliche Ausflüsse. Sonderbar ist seine, dem Epikur entlehnte Bildertheorie. Wir nehmen danach die Dinge wahr, indem sich dünne Häute von ihrer Oberfläche lösen und durch die Lüfte zu unserem Auge schwimmen. Die magnetischen Erscheinungen werden gleichfalls aus der Annahme erklärt, daß feine Teilchen von dem Magneten ausströmen. Selbst den Blitz läßt Lukrez aus glatten und winzigen Teilchen bestehen.

Interessant ist, wie Lukrez das Verhältnis von Empfindung und Materie erörtert. Er schreibt die Empfindung nämlich nicht den Atomen, sondern nur ihrer Zusammenfassung zu. Denn, meint er, die Menschenatome könnten doch nicht weinen und lachen. Indem er das tut, erhebt sich Lukrez über den krassen Materialismus der demokritischen Lehre. Des weiteren bringt er bemerkenswerte Anschauungen über Gegenstände der physikalischen Geographie. So erklärt er den gleichmäßigen Bestand des Meeres als eine Folge des Kreislaufs des Wassers. Nach seiner Annahme gelangt das Wasser aus dem Meere auf unterirdischem Wege in die Gebirge zurück[1]) und speist dort unter Zurücklassung des Salzgehaltes die Quellen.

[1]) Nach Vitruv dagegen werden die Quellen durch das in den Boden sickernde Regenwasser gespeist.

Die Erdbeben werden darauf zurückgeführt, daß die Erde mit Höhlungen, Strömen, Sümpfen und geborstenem Gestein ausgefüllt sei. Durch den Einsturz der Höhlen entständen Erschütterungen, die man als Erdbeben bezeichne.

Nicht minder merkwürdig als die Schrift des Lukrez sind die „Quaestiones naturales“ des römischen Dichters und Philosophen Seneca, der im Jahre 65 n. Chr. starb. Seneca meint, das Gesicht sei der trügerischste Sinn, da z. B. ein Ruder im Wasser wie gebrochen und ein Apfel durch eine Glaskugel bedeutend größer erscheine. Den Regenbogen hält er für das Spiegelbild der Sonne, denn einige Spiegel, sagt er, sind so beschaffen, daß sie die Gegenstände zu einer entsetzlichen Größe ausdehnen. Bei Seneca findet sich auch die einzige Stelle, welche darauf hindeutet, daß die Alten das Prisma gekannt und das Spektrum beobachtet haben. Seneca sagt nämlich, wenn man Glasstäbe mit mehreren Winkeln anfertige und die Sonnenstrahlen darauf fallen lasse, so erblicke man die Farben des Regenbogens.

Der Schall ist für Seneca ein Druck der Luft. Er begegnet sich in dieser, annähernd das Richtige treffenden, Anschauung mit Vitruv, der im Gegensatz zu dem, alles als Ausflüsse auffassenden Lukrez, den Schall als eine Lufterschütterung betrachtet. Diese Erschütterung läßt Vitruv ähnlich entstehen, wie sich durch einen Stein im Wasser die Wellenkreise bilden. Nur entständen die Wellen beim Schall nicht in der Fläche, sondern sie dehnten sich in die Breite und in die Höhe (somit kugelförmig) aus.

Im dritten Buche findet sich ein Anklang an den als Apokatastase bezeichneten periodischen Wechsel. Die Erde soll darnach[1]) verbrennen, wenn alle Gestirne im Krebse zusammenkämen und somit eine gerade Linie bildeten. Dagegen würde eine allgemeine Überschwemmung eintreten, wenn sich diese Konstellation im Steinbock wiederhole.

Die Höhe der Naturanschauung Senecas zeigt sich besonders in den Ansichten, die er über die Kometen entwickelt[2]). Seine Zeitgenossen, sagt er, seien der Meinung, die Kometen entständen in der dicken Luft. Er aber halte sie für „ewige Werke der Natur“, und zwar deshalb, weil auch ihnen ein Kreislauf eigen sei.

Von Beobachtungsgabe und Scharfsinn zeugen auch die Ansichten, welche Seneca über die geologischen Erscheinungen entwickelt. Die Erdbeben werden teils auf den Einsturz von Höhlungen

[1]) Nach einer Mitteilung des Berosus.

[2]) Seneca, Quaestiones VII. 22 u. 23.

des Erdinneren, teils auf dort angesammelte Gase zurückgeführt. Die Vulkane stellen die Verbindung zwischen der Oberfläche und dem glutflüssigen Erdinnern her. Unter den Vulkanen, welche Seneca aufzählt, findet der Vesuv keine Erwähnung, während Strabo ihn als einen erloschenen Vulkan betrachtete. Manche Bemerkungen Senecas über die lösende und die abtragende Tätigkeit des Wassers und die Bildung von Ablagerungen stimmen mit den neueren geologischen Anschauungen gut überein und „verraten durchweg ein gesundes Urteil [1]". Auch Vitruv äußert in seiner Schrift „De architectura" die Ansicht, daß in der Nähe des Vesuvs das Innere der Erde glühend sein müsse. Er schließt dies daraus, daß bei Bajae heiße Dämpfe aus dem Boden entwichen, Vitruv erwähnt ferner auf Grund der Überlieferungen, daß die Glut des Erdinnern in alten Zeiten Ausbrüche des Vesuvs veranlaßt habe, daher rühre auch wohl der Bimstein in der Nähe von Pompeji, der infolge der Hitze aus einem anderen Steine entstanden sei. Vitruv erwähnt auch, daß es Quellen gäbe, die vermöge ihrer Säure Blasensteine aufzulösen vermöchten, wie der Essig die Eierschalen löse [2]).

Über die mineralogischen und die chemischen Kenntnisse der Römer erfahren wir manches durch Plinius [3]). Eingehender befaßt sich dieser mit dem Glase. Er erwähnt seine Herstellung aus Sand, Soda (Nitrum) und Muschelschalen [4]). Auch ist ihm bekannt, daß man mit Kugeln aus Glas oder Kristall, sowie mit kugeligen mit Wasser gefüllten Glasgefäßen in der Sonne Hitze erzeugen kann [5]). Die Römer stellten sogar Treibhäuser mit gläsernen Wänden her, um auf diese Weise frühzeitig frisches Gemüse zu erhalten. Aus Glas verfertigte Spiegel finden gleichfalls schon bei Plinius Erwähnung. Neuere Ausgrabungen haben solche auch zutage gefördert. Der Belag dieser antiken Spiegel besteht aus reinem Blei [6]). Auch über die wichtigsten Farbstoffe und ihre Verwendung berichtet Plinius. Er erwähnt den Krapp und den Indigo, mit denen man die Wolle färbte. Wie man in Indien den

---

1) A. v. Zittel, Geschichte der Geologie und Paläontologie. 1899. S. 10.

2) Vitruv, De architectura. 8. 3.

3) Die chemischen Kenntnisse des Plinius in E. v. Lippmanns Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Leipzig 1906.

4) Plinius. 36, 64.

5) Plinius. 36, 66 u. 67.

6) Jahresbericht über die Fortschr. d. klass. Altertumswiss. 1902. III. S. 26—82 (Stadlers Bericht).

Indigo gewinnt, ist ihm indessen nicht bekannt. Am weitesten hatten es in der Kunst zu färben nach Plinius die Ägypter gebracht. Er erzählt von ihnen, daß sie die Stoffe vor dem Färben mit besonderen Flüssigkeiten (Beizen) behandelten.

Mancherlei über die chemischen Kenntnisse zur Zeit der Römerherrschaft erfahren wir auch durch die um 75 n. Chr. entstandene Arzneimittellehre des Dioskorides. So erwähnt dieser z. B. das Verzinnen von Kesseln [1]. Daß gewisse Mineralien beim Übergießen mit Essig Gas entwickeln, war im Altertum bekannt. Plinius knüpft daran die Bemerkung, der Essig sei stärker als das Feuer, denn er bezwinge Felsen, die dem Feuer Widerstand leisteten.

[1] v. Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Gesch. d. Naturwissenschaften. Leipzig 1906. S. 56.

7. Die zweite Blütezeit der alexandrinischen Akademie.

In die Zeit der römischen Weltherrschaft fällt eine nochmalige Blüteperiode der alexandrinischen Akademie. Die mit ihr verbundene große Bibliothek war zwar im Jahre 47 v. Chr. bei der Eroberung Alexandriens durch Cäsar ein Raub der Flammen geworden. Als Ersatz dafür gelangten zahlreiche Rollen der pergamenischen Bibliothek nach Alexandrien. Eine zweite Bibliothek befand sich dort im Serapeum. Sie wurde im Jahre 398 n. Chr. bei einem von den Christen hervorgerufenen Aufstand zerstört[1]).

Als ruhmvollster Name unter den alexandrinischen Gelehrten der nachchristlichen Jahrhunderte leuchtet uns derjenige des Ptolemäos entgegen. Mit seinen Verdiensten um die Fortentwicklung der Astronomie und der Geographie haben wir uns zunächst zu beschäftigen.

Ptolemäos lebte im 2. Jahrhundert n. Chr. in Alexandrien. Er hat sich als Mathematiker, Astronom, Physiker nnd Geograph die größten Verdienste erworben. Wahrscheinlich ist er in Ptolemais in Oberägypten geboren. Im übrigen ist über sein Leben fast nichts bekannt.

Ptolemäos hat eine größere Zahl von Schriften verfaßt, die in arabischer oder lateinischer Sprache größtenteils erhalten geblieben sind. Die wichtigsten sind die „Erdbeschreibung", der „Almagest" (das astronomische Hauptwerk) und die „Optik".

Das Weltsystem des Aristarch war zwar ein glücklicher Einfall; die heliozentrische Auffassung allein vermochte jedoch noch nicht, der genaueren Beschreibung der sich am Himmel abspielenden Vorgänge eine sichere Grundlage zu bieten. Dies System konnte daher im Altertum keine allgemeine Geltung finden, zumal es noch an den mechanischen Begriffen fehlte, welche damit in Einklang gebracht werden mußten. So erhob Ptolemäos den später auch Kopernikus und Galilei gegen-

---

[1]) Siehe Häser, Gesch. der Mediz. Bd. I. 231.

Über die alexandrinischen Bücherschätze und deren Schicksale siehe auch Ritschel, Breslau 1838.

über gemachten, von letzterem aber entkräfteten Einwand, daß eine Drehung der Erde um ihre Achse die Ablenkung eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers zur Folge haben müßte. Ferner galt der von Aristoteles herrührende Satz, daß die Bewegungen der Himmelskörper, weil die letzteren göttlich und ewig seien, gleichmäßig und im Kreise vor sich gehen müßten, dem Ptolemäos, wie dem gesamten Altertum, als eine unumstößliche Wahrheit. Zwar hatte es den Anschein, als ob sich die Planeten, sowie die Sonne und der Mond am Fixsternhimmel bald schneller, bald langsamer bewegten; erstere schienen sogar zeitweilig stillzustehen.

Die Unregelmäßigkeit der jährlichen Sonnenbewegung machte sich dem Ptolemäos vor allem darin bemerkbar, daß die Sonne 178 Tage und 18 Stunden gebraucht, um im Verlaufe des Winterhalbjahres vom Herbstpunkt zum Frühlingspunkt zu gelangen, während sie die andere Hälfte der Ekliptik, also den Weg vom Frühlings- zum Herbstpunkt, in weit längerer Zeit, nämlich in 186 Tagen und 11 Stunden zurücklegt[1]). Diese als die erste Ungleichheit bezeichnete Unregelmäßigkeit entspringt daraus, daß die Himmelskörper sich nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen bewegen. Die zweite Ungleichheit, die nur bei den Planeten auftritt, wird dadurch hervorgerufen, daß wir unsere Beobachtungen von der Erde aus anstellen, die sich ihrerseits wieder um die Sonne bewegt. Dieser Umstand ist es, der die scheinbaren Stillstände und Rückgänge der Planeten verursacht. Daß an dem Monde noch eine dritte Ungleichheit, die Evektion, in die Erscheinung tritt, entging schon Ptolemäos nicht[2]). Wir führen heute die Evektion auf Störungen zurück, welche die Mondbewegung durch die Sonne erleidet.

Schon Plato hatte es als die wichtigste Aufgabe der Astronomie bezeichnet, die beobachteten, scheinbar unregelmäßigen Bewegungen auf gleichförmige zurückzuführen, da, wie er sagte, keine Ursache vorhanden sei, daß die himmlischen Körper sich anders als gleichförmig bewegen sollten. Der erste, der eine Lösung der von Platon gestellten Aufgabe versuchte, war sein Schüler Eudoxos von Knidus. Er bediente sich dazu der Theorie

---

1) Johannes Frischauf, Grundriß der theoretischen Astronomie und der Geschichte der Planetentheorien. 2. Auflage. Leipzig 1903. S. 104. Die Änderung der Geschwindigkeit der scheinbaren Sonnenbewegung erklärt sich daraus, daß die Erde im Winter der Sonne näher ist als im Sommer.

2) Frischauf, a. a. O. S. 103.

der homozentrischen Sphären; und es gelang ihm dadurch, die zweite Ungleichheit als ein gesetzmäßig bestimmtes Bewegungsphänomen darzustellen. Nach Eudoxos ist jeder Planet auf einer rotierenden Sphäre befestigt. Die Pole dieser Sphäre liegen in einer zweiten Sphäre, die ebenfalls um eine Achse rotiert. Es kam nun darauf an, die Geschwindigkeiten jener Sphären und die Lage ihrer Achsen so zu wählen, daß dadurch dem tatsächlichen Verlauf der Erscheinungen möglichst Rechnung getragen wurde. Zu diesem Zwecke mußten für den Mond und für die Sonne je drei und für jeden Planeten 4 Sphären angenommen werden. Am besten gelang es auf diese Weise, die Bewegungen der entfernteren Planeten Saturn und Jupiter gewissermaßen in eine Regel zu fassen. Die größten Schwierigkeiten bereitete der Mars, an dem später Tycho und Kepler den wahren Ablauf der Planetenbewegungen nach endlosen Mühen entdecken sollten.

Um die Theorie mit den Erscheinungen in besseren Einklang zu bringen, wurde später die Zahl der Sphären noch vermehrt[1]). Einen anderen Weg schlugen Hipparch und Ptolemäos ein. Sie benutzten zur Auflösung der ersten Ungleichheit exzentrische Kreise und zur Bewältigung der zweiten Ungleichheit den Epizykel[2]). Hipparch erklärte die Erscheinung, daß die Sonne auf ihrer jährlichen Bahn eine größte und eine geringste Geschwindigkeit annimmt, indem er die Erde aus dem Mittelpunkt rückte und die Sonne um sie in gleichförmiger Bewegung einen exzentrischen Kreis beschreiben ließ. Die Größe der Exzentrizität ließ sich nun leicht so wählen, daß damit dem Verlauf der Erscheinungen Rechnung getragen wurde. Die Annahme von exzentrischen Kreisen hatte aber nicht einmal die Bewegung des Mondes, geschweige denn diejenige der Planeten zu erklären vermocht. Ptolemäos griff deshalb einen Gedanken auf, den der Mathematiker Apollonios geäußert hatte, und nahm zwei oder mehr Kreisbewegungen zu Hilfe. Zur Erklärung diene Ab-

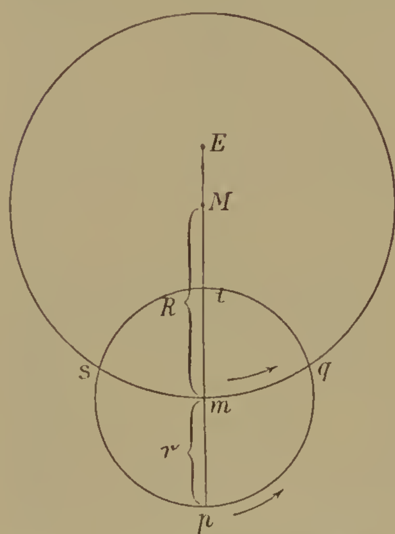


Abb. 35. Zur Erläuterung der Epizyklentheorie.

1) Durch Kalippus.

2) Der exzentrische, mit dem Epizykel verbundene Kreis wurde als der deferierende Kreis bezeichnet.

bildung 35. Es sei E die Erde, um die mit einem Radius R = Mm ein exzentrischer Kreis gezogen ist. Auf letzterem bewegt sich indes nicht der in Frage kommende Himmelskörper, sondern der Mittelpunkt der Kreisbahn p q t s, in der erst der Planet mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich bewegt. Diese Kreisbahn wird der Epizykel und die Theorie daher die Epizyklentheorie genannt. Es ist ersichtlich, daß der Himmelskörper, von der Erde gesehen, sich in p rascher bewegt als in t, wo seine Bewegung derjenigen des Epizykels entgegengesetzt ist. Auch ist klar, daß trotz der gleichförmig gedachten Bewegung, mit deren Annahme der Forderung Platons Genüge geleistet war, scheinbare Stillstände und Rückgänge eintreten können. Es kam nur darauf an, das Verhältnis von r und M E zu R, sowie die Umlaufszeiten um M und m so zu wählen, daß dem Verlauf der Erscheinungen durch die hypothetischen Bewegungen Genüge geleistet war und erstere aus den angenommenen Verhältnissen berechnet werden konnten. Stimmten dann die Berechnungen mit neuen, auf Grund der Rechnung angestellten Beobachtungen nicht überein, so führte man einen dritten Epizykel ein, dessen Mittelpunkt den Kreis p q t s beschrieb. Durch eine Verknüpfung derartiger Kreisbewegungen läßt sich offenbar jede, nach einem bestimmten Gesetze auf beliebiger Bahn ablaufende Bewegung darstellen. Ptolemäos wandte die Epizyklentheorie zunächst auf die Erklärung der Mondbewegung an. Daß die Entfernung des Mondes von der Erde beträchtlichen Schwankungen unterworfen ist, hatte sich ihm aus der Tatsache ergeben, daß der scheinbare Durchmesser des Mondes nach seinen Beobachtungen zwischen 31⅓ und 35⅓ Minuten schwankt. Aristoteles hatte also recht, wenn er behauptete, „daß derselbe Diskus, bei sich gleichbleibender Entfernung vom Auge, den Mond bald bedecke, bald nicht“.

Um die beiden ersten Ungleichheiten des Mondumlaufes zu erklären, ließ Ptolemäos das Gestirn einen Epizykel beschreiben, der sich innerhalb eines Zeitraumes vollziehen sollte, in welchem der Mond zu demselben Endpunkte seiner großen Bahnachse zurückkehrt[1]). Der Mittelpunkt dieses Epizykels umlief die Erde in einem Kreislauf, der gegen die Ekliptik, der Neigung der Mondbahn entsprechend, schief gerichtet war. Die Zeitdauer dieses Kreislaufs währte bis zur Rückkehr zu den Knoten, den Punkten, in denen die Ekliptik und die Mondbahn sich schneiden.

[1]) Heller, Geschichte der Physik. I. 133.

Der dritten Ungleichheit, der Variation, wurde auch in etwas Rechnung getragen, so daß sich Rechnung und Beobachtung, wenigstens für den damaligen Stand der astronomischen Wissenschaft, hinreichend deckten. Dasselbe Ziel suchte Ptolemäos bezüglich der Planetenbewegung unter Zuhilfenahme der Epizyklen und der exzentrischen Kreise zu erreichen. Doch waren die Schwierigkeiten hier fast noch größer.

So lange man die Epizyklentheorie als bloße Hilfshypothese ansah und benutzte, ließ sich nichts gegen sie einwenden. Wir bedienen uns noch heute zur Beschreibung von Naturvorgängen mancher Fiktionen, welche dem Fortschritt der Erkenntnis nur dann gefährlich werden, wenn wir uns daran gewöhnen, in ihnen den wahren Grund der Erscheinungen zu erblicken. Erinnert sei nur an die Annahme magnetischer und elektrischer Fluida, an deren wirkliches Vorhandensein kein Physiker glaubt, obgleich sie einer elementaren Beschreibung der magnetischen und elektrischen Vorgänge zugrunde gelegt werden. Mit der zunehmenden Kompliziertheit solcher Hypothesen wird indes ihre Anwendung immer mehr erschwert. So trug schon aus dieser Ursache die Epizyklentheorie den Keim des Todes in sich, wenn auch ihre Herrschaft noch lange dauern sollte. Denn selbst Koppernikus war, nachdem er die Sonne, wie er sich ausdrückt, auf ihren königlichen Thron in die Mitte der sie umkreisenden Gestirne gesetzt hatte, sofort gezwungen, sich der Epizykel wieder als Hilfskonstruktion zu bedienen, weil er an der Vorstellung einer kreisförmigen Bewegung der Planeten festhielt.

Zwar kam bei Annahme der heliozentrischen Lehre die sogenannte zweite Ungleichheit in Fortfall, da sie ja daraus entsprang, daß man die Erde als den Mittelpunkt der Bewegungen betrachtete. Anders stand es mit der ersten Ungleichheit, welche daraus hervorgeht, daß die Himmelskörper sich nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen bewegen. Da Koppernikus an die Möglichkeit einer anderen als der kreisförmigen Bewegung noch gar nicht dachte, so blieb ihm zur Erklärung der ersten Ungleichheit nichts anderes übrig, als darauf die Epizyklentheorie anzuwenden. Das astronomische und das trigonometrische Wissen seiner Zeit legte Ptolemäos, nachdem es durch ihn eine beträchtliche Vermehrung erfahren, in einem Lehrbuch nieder, das von den Arabern Almagest[1])

[1]) Aus dem arabischen Artikel und dem ersten Wort des griechischen Titels (*Μεγάλη σύνταξις*) entstanden. Die Übersetzung ins Arabische fand um 827 statt. Seit dem 12. Jahrhundert wurde der Almagest wiederholt ins

genannt wurde und dem gesamten Mittelalter in astronomischer Hinsicht als ein Evangelium galt.

Das Bedürfnis nach einer Verbesserung der von Ptolemäos mitgeteilten Planetentafeln machte sich schon im Mittelalter geltend. Um das Jahr 1250 berief daher König Alfons von Kastilien eine Anzahl Gelehrter, welche neue astronomische Tafeln, die sogenannten alfonsinischen, entwarfen, die einen wesentlichen Fortschritt gegenüber denjenigen des Ptolemäos bedeuteten. An der Epizyklentheorie wurde indes trotz ihrer wachsenden Kompliziertheit nicht gerüttelt, was Alfons zu dem Ausspruch veranlaßt haben soll, die Welt würde besser geworden sein, wenn Gott ihn bei ihrer Erschaffung zu Rate gezogen hätte. Außer der vorstehend skizzierten, dem damaligen Standpunkte der Astronomie genügenden Epizyklentheorie finden wir im Almagest die schon von den älteren alexandrinischen Astronomen, sowie von Hipparch in Angriff genommene Bestimmung der Fixsternörter fortgesetzt. Das von Ptolemäos entworfene Verzeichnis[1]) umfaßt etwa tausend Sterne, die nach ihrer Lage innerhalb der von den Griechen angenommenen Sternbilder, sowie nach Länge und Breite bestimmt sind. Auch die Untersuchung der von Hipparch entdeckten und ihrer Größe nach gleich etwa einem Grad für das Jahrhundert angegebenen Präzession der Nachtgleichen wurde von Ptolemäos wieder aufgenommen. Eine Bestätigung dieser Erscheinung war nämlich sehr wichtig, da Hipparch sich nur auf die wenig genauen Beobachtungen der älteren Alexandriner stützen konnte.

Die astronomischen Leistungen des Ptolemäos wurden dadurch ermöglicht, daß die beiden wichtigsten Hilfswissenschaften der Astronomie, die Mathematik und die Meßkunde, bedeutende Fortschritte aufzuweisen hatten. Die wichtigste Vorarbeit auf dem Gebiete der Mathematik lieferte der Astronom Menelaos von Alexandrien, dessen Sternbeobachtungen im Almagest Erwähnung finden. Menelaos verfaßte ein Werk über die Berechnung der Sehnen, das verloren ging, und ein zweites, „Sphärik“ genannt, welches die Grundzüge der sphärischen Trigonometrie entwickelte,

---

Lateinische übertragen. Die beste Ausgabe des griechischen Textes nebst einer Übersetzung ins Französische veranstaltete Halma (2 Bde., Paris. 1813—1816). Eine griechisch-lateinische Ausgabe veranstalteten Wilberg und Grashof, Essen 1838—1845.

[1]) Es bildet das 7. Buch des Almagest und wurde 1795 übersetzt und erläutert herausgegeben von J. E. Bode: J. E. Bode, Claudius Ptolemäus' Beobachtung und Beschreibung der Gestirne. Berlin 1795.

indessen nur in Übersetzungen bekannt geworden ist[1]). Menelaos bringt schon den Satz, daß in jedem sphärischen Dreieck die Summe der drei Winkel größer als zwei Rechte ist. Er zeigt, daß gleichen Seiten desselben sphärischen Dreiecks gleiche, ungleichen Seiten ungleiche Winkel gegenüberliegen, und zwar den größeren Seiten die größeren Winkel. Sein Werk enthält die wichtigsten Sätze über die Kongruenz sphärischer Dreiecke, ferner diejenigen Sätze über Transversalen im ebenen und im sphärischen Dreieck, die man noch jetzt als die Sätze des Menelaos bezeichnet. Ptolemäos vollendete, was Hipparch und Menelaos auf dem Gebiete der ebenen und der sphärischen Trigonometrie begonnen hatten. Er gab dieser Wissenschaft für den astronomischen Gebrauch eine Form, die sich, wie seine Lehre, länger als ein Jahrtausend erhalten hat.

Die Förderung, welche die Meßkunde bei seinen Vorgängern erfahren hatte, wußte sich Ptolemäos ebenfalls zunutze zu machen. Im Jugendzeitalter der Astronomie wird man wohl die Entfernungen am Himmelsgewölbe nach Mondbreiten abgeschätzt und dabei wahrscheinlich zwei um ein Scharnier drehbare Stäbe, in deren Treffpunkt sich das Auge des Beobachters befand, benutzt haben. Die Alexandriner gebrauchten zwei Arten von Winkelmeßinstrumenten. Bei der einen kam eine geradlinige, bei der anderen die Kreisteilung in Anwendung. Zur ersten Art gehört das parallaktische Lineal, auch Regula Ptolemaica genannt, das Ptolemäos im Almagest beschreibt. Es besteht aus einem lotrecht und drehbar aufgestelltem Stabe, um dessen oberen Endpunkt sich ein gleich langer Stab mit Dioptern, zum Anvisieren des Gestirnes, bewegen ließ. Am unteren Ende des senkrechten Stabes war ein dritter drehbarer Stab mit Längseinteilung angebracht. Dieser Stab ließ sich in einer Rille des Diopterlineals verschieben. Bei jeder Höhen-

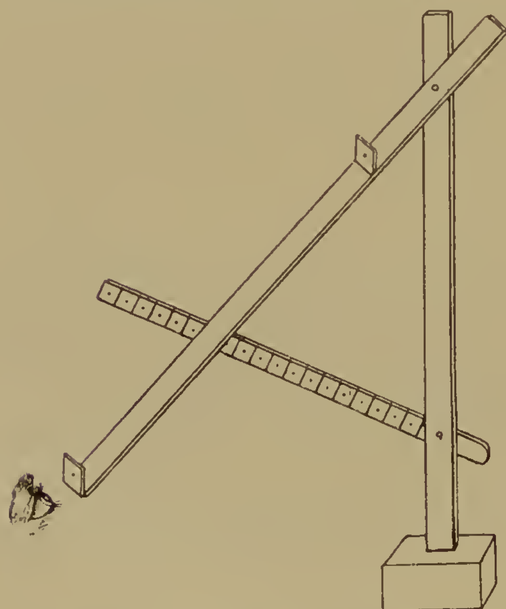


Abb. 36. Das parallaktische Lineal.

[1]) Die beste Ausgabe rührt von Halley her. Sie erschien in Oxford im Jahre 1758.

messung konnte die Lage des Diopterlineals auf der Gradeinteilung des zweiten beweglichen Lineals abgelesen und danach der entsprechende Winkel aus der Sehnentafel entnommen werden.

Indessen bediente sich Ptolemäos nach dem Beispiel von Aristill und Timocharis (300 v. Chr.) auch der mit Gradeinteilung versehenen, miteinander verbundenen Kreise, der sogenannten Armillen. Eratosthenes hatte 220 v. Chr. in Alexandrien Armillen von bedeutender Größe errichtet und vermittelst dieser Instrumente den Abstand der Wendekreise zu $^{11}/_{83}$ des Kreisumfanges bestimmt. Eine der von Ptolemäos benutzten Armillen zeigt uns die nebenstehende Abbildung[1]). Sie bestand aus einem aus Kupfer oder Bronze verfertigten Ring, der in 360 Grade geteilt war. Der Ring war in senkrechter Lage auf einer Säule errichtet und fiel mit dem Meridian zusammen. Diesem Ringe war ein zweiter drehbarer Ring mit zwei diametral gegenüber befindlichen Vorsprüngen eingepaßt. Wollte man z. B. die Mittagshöhe der Sonne messen, so wurde der innere Ring gedreht, bis der Schatten des einen Vorsprunges auf den anderen Vorsprung fiel. Eine Armillarsphäre (Ringkugel) bestand aus zwei festverbundenen, rechtwinklig zueinander stehenden Kreisen, von denen der eine in der Ebene des Meridians, der andere in der Ebene des Himmelsäquators lag. In dem Meridiankreis war ein dritter Kreis drehbar angebracht, dessen Drehachse mit der Weltachse zusammenfiel. In diesem dritten Kreise befand sich, konzentrisch und verschiebbar, ein vierter. Durch Diopter wurde ein Anvisieren ermöglicht, während Gradeinteilungen ein Ablesen der Deklination und des Stundenwinkels gestatteten. Dem Instrument lag also der Gedanke zugrunde, die an der Himmelskugel erkannten Kreise und Kreisbewegungen im kleinen nachzubilden. Zum Messen von Winkeln diente auch wohl der astronomische Ring oder das Astrolabium[2]).

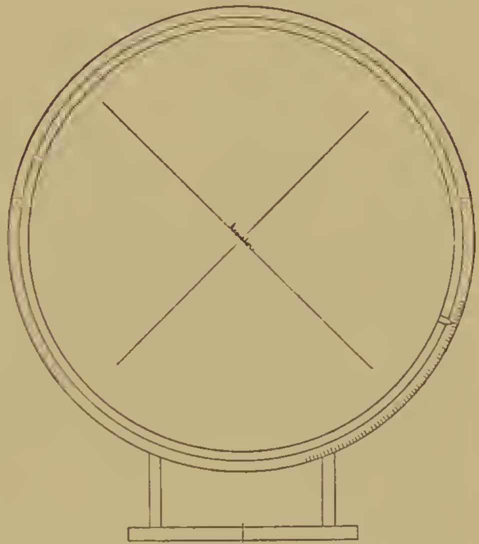


Abb. 37. Solstitial-Armille des Ptolemäos. Schematische Skizze nach dem Almagest.

---

1) Aus Repsold, Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge. 1908.
2) D. h. Sternfasser.

Es bestand aus zwei konzentrischen, gegeneinander verschiebbaren Ringen, die mit je zwei gegenüberstehenden Diopteru versehen waren. Wollte man Horizontalwinkel messen, so wurde der Ring hingelegt. Handelte es sich um das Messen von Höhenwinkeln, so hing man ihn auf. Außer den Armillen benutzte Ptolemäos, wie die chaldäischen Astronomen, auch aus Stein verfertigte Mauerquadranten, die in der Ebene des Meridians errichtet waren.

Wir erkennen, daß schon bei den frühesten astronomischen Beobachtungen der Forscher wesentlich auf die Geschicklichkeit des Mechanikers angewiesen war. Die Entwicklung der Astronomie ist daher mit der steten Vervollkommnung und mit der wachsenden Genauigkeit der Meßwerkzeuge Hand in Hand gegangen [1]). Schon die Herstellung der Ringinstrumente, welche die Alexandriner benutzten, erforderte eine hervorragende Fertigkeit. „Noch jetzt", so lautet das Urteil eines hervorragenden Kenners der Präzisionsmechanik, „würde nur von einem geschickten, mit einer Drehbank ausgerüsteten Arbeiter die auch nur für primitive Beobachtungen genügende Genauigkeit solcher Meßinstrumente zu erwarten sein [2]). Die für die Astronomie gleich wichtige Zeitbestimmung erfolgte, wie es schon bei den Chaldäern geschah, durch Wassermessung. Doch waren die hierbei Verwendung findenden Instrumente durch den um 270 v. Chr. lebenden Alexandriner Ktesibios, der auch als der Erfinder der Feuerspritze, der Wasserorgeln usw. genannt wird, und der in Heron einen Fortsetzer seiner Arbeiten fand, sehr vervollkommnet worden. Damit die Öffnung, durch welche das Wasser bei seinen Uhren strömte, unverändert blieb, stellte Ktesibios diese Öffnung nicht in gewöhnlichem Metall, sondern in Gold oder Edelstein her. Ferner sorgte er für ein konstantes Niveau des Wassers in dem Abflußgefäß, damit in gleichen Zeiten stets gleiche Mengen ausströmten. Mitunter wurden durch das ausströmende Wasser Gegenstände gehoben, die ihre Bewegung wieder auf ein Räder- oder Zeigerwerk übertrugen.

Bevor wir die Schilderung der astronomischen Verdienste des Ptolemäos beenden, sei noch einiges aus dem Inhalt des Almagest mitgeteilt, aus dem sich der Standpunkt, den die Sternkunde in Alexandrien erreicht hatte, ermessen läßt. Die Erde ist eine Kugel. Sie befindet sich in der Mitte des Himmels, kann aber hinsichtlich der Himmelsräume nur als ein Punkt betrachtet werden.

---

1) Im einzelnen hat dies neuerdings Repsold dargetan. S. S. 195.

2) Repsold, a. a. O. S. 6.

Während die Erde unbeweglich feststeht, bewegen sich die Gestirne in kreisförmigen Bahnen. Dies sind die Sätze, welche an der Spitze des Werkes stehen. Die Länge des Jahres wird im Almagest zu 365 Tagen 5 Stunden und 55 Minuten angegeben. Die Erde ist 39mal so groß wie der Mond, während die Sonne den Mond 6600mal an Größe übertreffen sollte. Bezüglich der Entfernungen wird angegeben, daß der Mond 59, die Sonne dagegen 1210 Erdhalbmesser von uns entfernt sei.

Wie durch Hipparch, so erfuhr auch durch Ptolemäos die Geographie eine bedeutende Förderung. Das von letzterem um 140 n. Chr. geschaffene Lehrbuch[1]) dieser Wissenschaft genoß, gleich dem Almagest, bis gegen das Ende des Mittelalters eine unbestrittene Herrschaft. Durch beide Schriften ist Ptolemäos einer der großen Lehrer für alle Zeiten geworden, da an den „Almagest“ und die „Geographie“ die großen Entdeckungen anknüpften, welche die Neuzeit auf astronomischem und geographischem Gebiete gemacht hat. Wie der „Almagest“, so enthält auch die „Geographie“ eine erstaunliche Fülle von Tatsachen. Nicht weniger als 5000 Punkte des damals bekannten Teiles der Erdoberfläche werden nämlich in der „Geographie“ nach Länge und Breite angegeben. Und zwar sind nicht nur Städte, sondern auch Flußmündungen, Berge und andere bemerkenswerte Orte berücksichtigt. Die Ermittelung der Breite geschah mit einer solchen Genauigkeit, daß die nach Ptolemäos' Angaben entworfenen Karten in meridionaler Richtung nur geringe Verzerrungen aufweisen. Ptolemäos selbst hat Anleitungen für die Ortsbestimmung und das Entwerfen von Karten gegeben. Die den alten Handschriften seiner Geographie beigegebenen Karten (10 über Europa, 5 über Afrika und 12 über Asien) entstammen indessen dem 6. Jahrhundert. „Sie sind“, sagt Ritter[2]), die Grundlage aller neueren Landkarten geworden. Ohne sie würden die unserigen schwerlich ihren jetzigen Grad von Vollkommenheit erlangt haben.“ Das bei den Alten übliche Verfahren der Längenbestimmung wurde schon erörtert[3]). Es lieferte sehr unvollkommene Ergebnisse. Auch wechselte man schon im Altertum mit der Lage des Nullmeridians. So rechnete

---

[1]) Herausgegeben von Nobbe. 3 Bde., Leipzig 1843—1845. Eine deutsche Übersetzung findet sich im 1. Bande der „alten Geographie“ von Georgi (Stuttgart 1838).

[2]) C. Ritter. Geschichte der Erdkunde und der Entdeckungen. Berlin 1861.

[3]) Siehe S. 148.

Ptolemäos nicht nach dem von Hipparch durch die Insel Rhodos gezogenen Mittagskreis, sondern er verlegte den Anfang der Zählung nach den „glücklichen Inseln“ des äußersten Westens. Diese Einrichtung bot den Vorzug, daß für die in Betracht kommende Region der Erde die Unterscheidung zwischen westlicher und östlicher Länge in Wegfall kam. Bei der kartographischen Darstellung des ihm bekannten Teiles der Erdoberfläche konnte Ptolemäos ihre Krümmung nicht mehr unberücksichtigt lassen. Es galt daher, eine Methode zu benutzen, welche Teile einer Kugelfläche in der Ebene zu zeichnen ermöglichte. Diese Aufgabe löste Ptolemäos, indem er sich der Projektionsart bediente, die man als die stereographische bezeichnete.

Während der mathematische Teil der Erdkunde infolge der bedeutenden Fortschritte der Astronomie sehr gefördert wurde, blieb auch die physische Erdkunde nicht zurück. Von großem Einfluß war hier die Erweiterung des Gesichtskreises durch die römischen Eroberungszüge und der dadurch bedingte kosmopolitische Zug, welcher die gesamte Erde als Wohnsitz des Menschen auffassen lehrte. Insbesondere spricht sich dieser Zug in Strabo aus, von dessen Erdbeschreibung Humboldt[1]) sagt, sie übertreffe an Mannigfaltigkeit und Großartigkeit alle geographischen Arbeiten des Altertums. Strabo läßt Inseln und ganze Kontinente, in Übereinstimmung mit den Ansichten der heutigen Geologen, durch vulkanische Kräfte emporgehoben werden. „Nicht nur kleine Inseln können gehoben werden“, heißt es bei Strabo[2]), „sondern auch große, ja selbst Festland“. Von Sizilien sagt er, man möchte es „nicht für ein Bruchstück Italiens halten, sondern vermuten, es sei durch das Feuer des Ätna aus der Tiefe emporgehoben worden“. Doch erörtert Strabo auch die Möglichkeit, daß Sizilien durch ein Erdbeben von Italien getrennt worden sei. Als Beweis, daß Inseln auf vulkanischem Wege entstehen, führt er an, daß sich im Jahre 196 v. Chr. in der Nähe von Thera, dem heutigen Santorin, unter Feuererscheinung eine Insel von 12 Stadien Umfang erhoben habe. Wie Sizilien, so betrachtete Strabo auch

---

1) Strabos Erdbeschreibung, übersetzt von Forbiger, Stuttgart 1856—1862. Eine neuere Ausgabe veranstaltete Meineke. Leipzig 1866.

Siehe Humboldt, Examen critique de l'histoire de la géographie I. 152—154. Strabo war griechischer Abstammung, lebte indes meist in Rom. Er wurde 63 v. Chr. geboren und lernte einen großen Teil des römischen Weltreichs durch eigene Anschauung kennen.

2) Im 3. Abschnitt seines I. Buches.

Capri und andere der Küste benachbarte Inseln als frühere Teile des Festlandes, während inmitten des Meeres gelegene Inseln, wie jene Neubildung in der Nähe Theras, durch vulkanische Tätigkeit entstanden sein sollten. Bei Strabo begegnet uns übrigens auch zuerst die Ansicht, daß die Vulkane Sicherheitsventile der Erde seien. Die Alten wollten nämlich beobachtet haben, daß Sizilien in Zeiten einer erhöhten Tätigkeit der in der Nähe dieser Insel liegenden Vulkane und des Ätna weniger unter Erdbeben zu leiden habe.

Auch die Versteinerungen werden von Strabo schon richtig gedeutet. So tritt er bei der Besprechung der linsenförmigen Nummuliten des Kalksteins, aus dem die Pyramiden von Gizeh erbaut sind, der Meinung entgegen, daß es sich hier um erhärtete Überreste von den Speisen der Erbauer handeln könne. Schon Eratosthenes habe erwähnt, daß tausende von Stadien vom Meere entfernt Schnecken und Muscheln gefunden würden. Man müsse daher annehmen, daß einst große Teile des Festlandes für gewisse Zeit überschwemmt gewesen und dann wieder trocken geworden seien. Der Boden des Meeres sei ferner uneben wie die Oberfläche des Landes und das Meer infolgedessen von verschiedener Tiefe.

Als Beweis für eine außerordentliche, in historischer Zeit erfolgte Verschiebung der Meeresküste erwähnt Strabo von einer früheren Seestadt südlich der Pomündung, daß sie 90 Stadien vom Ufer entfernt liege. Seit jener Zeit ist diese Küste bekanntlich um einen weiteren erheblichen Betrag meerwärts hinausgeschoben worden, so daß Ravenna, das z. B. zur Zeit Strabos Seestadt war, jetzt sieben Kilometer von der Küste entfernt liegt.

Strabo besitzt auch bezüglich der erodierenden Tätigkeit des Wassers, der Ursache von Ebbe und Flut sowie der Abnahme der Temperatur mit der Erhebung richtige Vorstellungen. Er ahnt sogar das Vorhandensein einer zweiten Kontinentalmasse neben der von Europa, Asien und Afrika gebildeten, wenn er sagt: „Es ist wohl möglich, daß in demselben gemäßigten Erdgürtel, welcher durch das atlantische Meer geht, außer der von uns bewohnten Welt noch eine andere oder selbst mehrere liegen." Columbus ließ sich dagegen von der Vorstellung leiten, daß eine Fahrt nach Westen unmittelbar zu den östlichen Gestaden des asiatischen Festlandes führen müsse.

Auch bei den Römern war man auf dem Gebiete der physikalischen Geographie gegen den Ausgang des Altertums zu ziemlich

klaren Vorstellungen gelangt. So verdankt man dem Vitruvius[1]) eine im ganzen richtige Theorie der Quellenbildung nebst einer darauf beruhenden Anweisung zur Auffindung von Quellen, während Seneca[2]) die durch das Wasser auf der Erdoberfläche hervorgerufenen Veränderungen recht gut schildert und die Springfluten darauf zurückführt, daß bei ihnen außer dem Monde auch die Sonne zur Wirkung gelangt.

Nicht gering waren ferner die Kenntnisse auf dem Gebiete der Länderkunde während der letzten Jahrhunderte vor Beginn unserer Zeitrechnung. Was die Kenntnis der einzelnen Länder anbelangt, so ergänzt die Erdbeschreibung Strabos in glücklicher Weise diejenige des Ptolemäos. Strabo hat mehr die europäischen, Ptolemäos dagegen mehr die asiatischen Länder berücksichtigt. Nur in bezug auf das nördliche und östliche Germanien ist der Bericht des Ptolemäos wieder als der reichhaltigere zu bezeichnen. „Ptolemäos eröffnete", sagt Ranke,[3]) „durch seine Beschreibung der Länder jenseits des Rheines und der Donau gleichsam eine neue Welt." Er zerstörte ferner den Wahn, daß das Kaspische Meer in das Weltmeer münde und wies die Abgeschlossenheit jenes Beckens nach. Seine Darstellung stützte Ptolemäos besonders auf die geographischen Kenntnisse der Phönizier und auf die Berichte, welche ihm der Karawanenhandel zuführte. Auch die Züge Alexanders, die gewaltige Ausdehnung der Römerherrschaft und Reisen, welche die damaligen Geographen im Gefolge der Heere, der Statthalter und Gesandtschaften unternahmen, hatten eine Fülle von Material geliefert. So wußte man z. B. über Indien zur Zeit des Ptolemäos viel mehr als zur Zeit Mercators am Schlusse des 16. Jahrhunderts[4]). Nach Herodots Erzählung (IV, 42) ließ der ägyptische König Necho um 600 v. Chr. phönizische Schiffer vom roten Meere aus Afrika umsegeln und durch die Straße von Gibraltar nach Ägypten zurückkehren. Die Fahrt soll 3 Jahre gedauert haben. Herodots Erzählung ist oft angezweifelt worden. Soviel ist indes gewiß, daß im Altertum der Äquator überschritten wurde. Denn die Schiffer sagten aus, bei ihrer Fahrt um Lybien herum nach Westen

---

1) Vitruvius VIII, 1.

2) Seneca, Naturales quaestiones III, 5 und 28. Seneca, römischer Dichter und Philosoph, lebte von 4 v. Chr. bis 65 n. Chr. Eine Übersetzung seiner Werke veranstalteten Moser und Pauly, Stuttgart 1828—1855. Eine neuere Ausgabe rührt von Haase her (Teubner 1893 u. 1895).

3) Ranke, Weltgeschichte III, 313.

4) Peschel, Geschichte der Erdkunde. S. 12.

habe die Sonne um Mittag zur rechten Hand, also im Norden, gestanden. Herodot fügt dieser Angabe hinzu, er könne das nicht glauben; vielleicht gäbe es andere, die es glauben könnten. Diese Erzählung Herodots hat man als einen Beweis dafür betrachtet, daß die Fahrt wirklich stattgefunden hat[1]).

Mit den nördlichen Ländern Europas wurde das Altertum besonders durch die Reisen des Massiliers Pytheas, eines Zeitgenossen Alexanders des Großen, bekannt. Pytheas brachte Kunde von Gallien und Britannien und von den Fundorten des Bernsteins. Die nördlichste Insel, die er erreichte, war Thule. Es ist zweifelhaft, ob es sich hier um eine der Shetlands-Inseln oder um eine norwegische Insel handelt. Die frühere Annahme, Pytheas sei bis nach Island vorgedrungen, hat man nicht aufrecht erhalten. Jedenfalls brachte er aber Kunde von der Erscheinung, daß im hohen Norden an einem Tage des Jahres die Sonne nicht untergehe. Der geographische Gesichtskreis der Alten hat sich also von der südlichen Hemisphäre bis zum nördlichen Polarkreis erstreckt. Die Ergebnisse der alten Forschungsreisen waren besonders wertvoll, wo es sich, wie bei Pytheas, um einen Mann handelte, der mit physikalischen und astronomischen Kenntnissen ausgerüstet war. Leider sind Schriften von Pytheas nicht vorhanden und die von ihm gewonnenen Ergebnisse nur zum geringen Teil durch Fragmente bei anderen Schriftstellern bekannt geworden[2]).

Die Quelle, aus welcher Ptolemäos bei der Abfassung seiner, acht Bücher umfassenden, Geographie besonders schöpfte, waren die Reiseberichte des Marinus von Tyrus. In den phönizischen Häfen besaß man auf Grund des ausgedehnten Handels, der von dort aus getrieben wurde, eine ausgedehnte Kenntnis aller von phönizischen Schiffen besuchten Länder, Inseln und Meere. Nach diesem Material entwarf Marinus eine Karte, die sich unter dem Namen der Tyrischen Weltkarte in der Bibliothek zu Alexandrien befand. Auf dieser Karte war der erste Meridian durch die glücklichen (Canarischen) Inseln gelegt. Ptolemäos sagt von Marinus, dieser habe einen so großen Reichtum an Nachrichten der Alten und der Neueren zusammengebracht und so viele Reiseberichte und Werke berücksichtigt, wie keiner seiner Vorgänger. Dementsprechend sind auch die Angaben, die Ptolemäos

---

[1]) C. Ritter, Gesch. der Erdkunde und Entdeckungen. Berlin 1861.

[2]) J. Lelewel, Pythéas de Marseille et la géographie de son temps. Paris 1836 und M. Fuhr, Pytheas aus Massilien, eine historisch-kritische Abhandlung. Darmstadt 1842.

von den asiatischen Ländern macht, weit reichhaltiger als diejenigen, welche durch die römischen Geographen auf uns gekommen sind. So nennt Ptolemäos viele Städte, Flüsse und Berge der Insel Ceylon (Taprobane), von der Plinius kaum etwas zu erzählen weiß. Ptolemäos kennt auch die Sundainseln. Vorderindien ist ihm so gut bekannt, daß er von 39 Orten nicht nur die Lage, sondern auch die Dauer des längsten Tages nach genaueren Beobachtungen angibt. Die Flüsse und Berge Indiens, die er nennt, sind den Europäern bis ins 16. Jahrhundert hinein unbekannt geblieben. Die geographischen Kenntnisse der Phönizier, auf welche Ptolemäos fußte, erstreckten sich also keineswegs nur auf die Meere und die Küsten, sondern auch auf das Innere der Kontinente. Sogar der Weg über Land vom Euphrat über Baktrien und ein hohes Gebirge, das sich bis nach China erstrecke, wird beschrieben.

Wir haben die Fortschritte, welche die Astronomie und die mit ihr emporblühende Geographie in den ersten nachchristlichen Jahrhunderten erlebten, als die wichtigsten wissenschaftlichen Ereignisse an die Spitze dieses Zeitraumes gestellt. Es gilt jetzt, der Naturlehre und der Naturbeschreibung, welche weniger hervortreten, eine kurze Darstellung zu widmen. Die Mechanik hatte in der vorchristlichen Zeit in Archimedes und in Heron ihren Höhepunkt erreicht. Als ihr Hauptvertreter während des jetzt zu schildernden Zeitraumes ist der Alexandriner Pappos zu nennen, der sich auch um die Weiterbildung der Mathematik verdient gemacht hat. Pappos lebte gegen das Ende des 3. Jahrhunderts n. Chr. Sein auf uns gekommenes Werk besteht aus 8 Büchern und führt den Namen „Die Sammlung“[1]. Besonders das letzte Buch bringt geometrisch begründete Lehren der Mechanik, wie die Lehre vom Schwerpunkt und von der schiefen Ebene. Es behandelt auch die Aufgabe, eine gegebene Last durch eine gegebene Kraft mit Hilfe von Zahnrädern zu bewegen, deren Durchmesser in gewissen Verhältnissen stehen. Das 7. Buch des Pappos enthält jenen wichtigen Satz, der unter dem Namen der Guldinschen Regel erst im 17. Jahrhundert wieder allgemeiner bekannt wurde, den Satz nämlich, daß der Inhalt eines Rotationskörpers gleich dem Produkt aus der rotierenden Fläche und dem Wege ihres Schwerpunktes ist. Erwähnt sei ferner noch, daß sich bei Pappos

[1]) Eine Ausgabe mit lateinischer Übersetzung gab Fr. Hultsch heraus. Berlin 1875—1878. Im Jahre 1871 erschien das VII. und VIII. Buch mit deutscher Übersetzung von Gerhardt.

in solch ausgedehntem Maße die Verwendung von Buchstaben zur Bezeichnung allgemeiner Zahlen findet, wie bei keinem Schriftsteller vor ihm, so daß uns bei Pappos schon die Elemente der Buchstabenrechnung begegnen.

Von der Förderung der Optik und der Akustik während der ersten Blütezeit der alexandrinischen Schule wurde an früherer Stelle gehandelt. Bemerkenswert ist, daß die Optik auch während der zweiten Blütezeit erheblich gefördert wurde. Und zwar geschah dies durch denselben Ptolemäos, dessen Verdienste auf dem Gebiete der Astronomie und der Geographie wir soeben als so hervorragend anerkannt haben. Wir finden nämlich bei Ptolemäos einen der merkwürdigsten Ansätze zu der dem Altertum im übrigen nur wenig geläufigen induktiven Behandlung einer physikalischen Erscheinung.

Es handelt sich um die Ablenkung, die ein Lichtstrahl beim Übergange aus einem Mittel in ein zweites von anderer Dichte erfährt, während das Licht sich in ein- und derselben Substanz geradlinig fortpflanzt. Selbst der frühesten Beobachtung konnte es nicht entgehen, daß diese Brechung um so größer ist, je schräger das Licht die Grenzfläche zwischen beiden Mitteln trifft. Der erste Schritt auf dem Wege des induktiven Verfahrens mußte darin bestehen, daß man die Erscheinung messend verfolgte und für eine Reihe von Einfallswinkeln die Größe der entsprechenden Brechungswinkel durch den Versuch bestimmte. Letzteres geschah durch Ptolemäos. Mit einem für diesen Zweck verfertigten Werkzeug maß er für die Einfallswinkel von 10°, 20°, 30° usw. die zugehörigen Brechungswinkel. Sein Apparat bestand aus einer Scheibe, die in Grade geteilt war und bis zum Mittelpunkt in Wasser tauchte (Abb. 38.). Das Verfahren war folgendes: Ein Lichtstrahl BC wurde durch eine Marke B des über dem Wasserspiegel MN befindlichen Scheibenstückes nach dem Mittelpunkte C der Scheibe geleitet. An dieser Stelle fand beim Eintritt in das Wasser die Brechung statt. Der gebrochene Strahl CD setzte seinen Weg unter Wasser fort, bis er den Umfang der Scheibe in einem auf der Gradeinteilung abzulesenden Punkt D wiedertraf. Die Werte, welche Ptolemäos auf solche Weise erhielt, sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

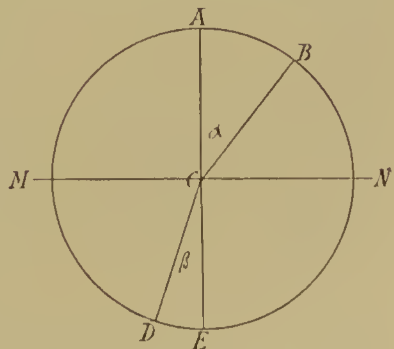


Abb. 38. Ptolemäos mißt die Brechungswinkel.

Einfallswinkel (α)	Brechungswinkel (β)	
10°	8 °	(statt 7° 17′)
20°	15,5°	(„ 14° 47′)
30°	22,5°	(„ 21° 54′)
40°	28,0°	(„ 28° 40′)
50°	35,0°	(„ 34° 52′)
60°	40,5°	(„ 40° 16′)

Der Brechungsexponent für den Übergang des Lichtes aus Luft in Wasser ergibt sich daraus gleich 1,31, während dieser Wert nach neueren Messungen 1,33 beträgt. Das Resultat war also im Hinblick auf die Art des Verfahrens recht genau, ein Beweis, daß eins der wichtigsten Erfordernisse der exakten Forschung, die Schärfe der Messung nämlich, dem Ptolemäos nicht mangelte.

Ptolemäos benutzte sein Ergebnis auch zur Erklärung einer astronomischen Erscheinung. Es schloß nämlich, daß der Lichtstrahl auch beim Durchgange durch die Atmosphäre eine Brechung erleidet, die vom Zenith nach dem Horizont allmählich zunimmt und unter dem Namen der atmosphärischen Refraktion bekannt ist. Diese Refraktion machte sich ihm z. B. dadurch bemerklich, daß er die Poldistanz eines Gestirnes beim Auf- und Untergang kleiner fand als zur Zeit der oberen Kulmination.

Nach dem Messen besteht der nächste Schritt auf dem Wege des induktiven Verfahrens in dem Auffinden einer gesetzmäßigen Beziehung zwischen den gegebenen und den gefundenen Größen. Ptolemäos hat auch diesen Schritt auf dem Gebiete der Physik zu machen versucht. Wenn es ihm auch nicht gelang, die gefundenen Beziehungen auf einen mathematischen Ausdruck zurückzuführen, so sprach er doch das Grundgesetz der Dioptrik dahin aus, daß der Lichtstrahl beim Übergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel zum Einfallslote hin gebrochen wird. Er findet es sogar wahrscheinlich, daß für je zwei Stoffe stets ein bestimmtes Verhältnis zwischen dem Einfalls- und Brechungswinkel obwaltet.

Nachdem das Problem der Brechung soweit gefördert war, hat es lange geruht. Zwar beschäftigte es die gerade auf dem Gebiete der Optik sehr tätigen Araber[1]. Doch gelangten diese nicht wesentlich über Ptolemäos hinaus. Auch Johann Kepler hat sich damit befaßt, indem er nach einem später zu beschreibenden Verfahren Messungen über die Brechung anstellte und den

[1] Alhazen im 7. Buche seiner Optik. Siehe an späterer Stelle dieses Bandes.

Begriff des Grenzwinkels einführte. Seine Lösung fand das Problem indes erst im 17. Jahrhundert durch Snellius, den wir als den Entdecker des Brechungsgesetzes kennen lernen werden.

Nach dieser Betrachtung der Verdienste, die sich der so vielseitige Ptolemäos auf dem Gebiete der Astronomie, der Geographie und der Physik erworben, wollen wir uns in großen Zügen den Besitz vergegenwärtigen, über den das Altertum während der römisch-alexandrinischen Periode in den übrigen Zweigen der Naturwissenschaften verfügte.

Während die Mechanik, die Optik und die Akustik ihre Grundlagen erhielten, blieb man auf den Gebieten der Wärme, des Magnetismus und der Elektrizität bei einigen rohen Beobachtungen und dunklen Deutungen stehen. So war der Magnetstein und seine Eigenschaft, das Eisen anzuziehen, schon dem frühesten griechischen Altertum bekannt. Da man der Seele das Vermögen, etwas zu bewegen, zuschrieb, glaubte man, daß der Magnet, ähnlich wie das Tier und die Pflanze, beseelt sei[1]).

Auch die Eigenschaft des Magneten, durch andere Stoffe hindurch zu wirken, konnte nicht lange verborgen bleiben. So erzählt Lukrez, der in seinem Werke „De rerum natura“ die magnetischen Erscheinungen mit behaglicher Breite schildert: „Ich sah eiserne Spän' aufkochen und wallen in ehernen Schalen, wenn der magnetische Stein denselbigen untergelegt ward“[2]). Auch die bei Uneingeweihten das größte Staunen erregenden, schon Plato bekannten Ketten, welche aus eisernen, magnetisch gemachten Ringen bestanden, die nicht ineinander griffen, sondern sich nur berührten, beschreibt Lukrez. Er wagt sich sogar an eine Erklärung der magnetisehen Erscheinungen. Wie von manchen Körpern, so sollen auch vom Magneten Teilchen ausströmen, welche die benachbarte Luft zurückdrängen. Infolgedessen „stürzen urplötzlich des Eisens Stoffe sich hin nach dem Leeren, und also geschieht es“[3]). Daß der Magnet zwei Pole besitzt, und zwischen diesen eine Indifferenz-

---

[1]) So heißt es bei Aristoteles (de anima I. 2): Auch Thales scheint die Seele für etwas Bewegendes gehalten zu haben, da er von dem Magneten sagt, daß er eine Seele besitze, weil er das Eisen bewegt.

[2]) Lukrez, VI. v. 1043—1044. Lukrez lebte von 98 bis 55 v. Chr. Seine aus sechs Büchern bestehende Schrift: „De rerum natura“ befaßt sich mit den Grundlehren der Physik, der Psychologie und der Ethik. Von den Ausgaben sei hier diejenige Lachmanus erwähnt. 4. Aufl. Berlin 1871. Eine Übersetzung rührt von Seydel (München 1881) her.

[3]) Lukrez, VI. v. 1005—1006.

zone liegt, scheint den Alten entgangen zu sein. Auch die Richtkraft kannten sie nicht, während die Chinesen mit ihr schon vor Beginn unserer Zeitrechnung vertraut waren.

Die Grunderscheinung der Reibungselektrizität ist den alten Völkern jedenfalls bekannt geworden, sobald sie durch den Handel in den Besitz des Bernsteins gelangten, da dieser in besonders auffallender Weise nach dem Reiben leichte Körperchen anzieht. Auch an anderen Stoffen scheinen die Alten jene Eigenschaft gelegentlich bemerkt zu haben[1]), doch ahnten sie keinen Zusammenhang zwischen ihr und dem Gewitter. Zwar erblickten die Philosophen in dem Blitz und dem Donner nicht mehr, wie das in den Anschauungen einer heidnischen Naturreligion befangene Volk, das Geschoß und die Stimme des Zeus. Man war aber auch noch weit entfernt von einer richtigen Deutung der Erscheinung. Anaximander z. B. hielt den Blitz für die in den Wolken verdichtete Luft, welche plötzlich mit Geräusch hervorbreche.

Auch das Phänomen der tierischen Elektrizität war den Alten wohl bekannt. Es entzog sich aber gleichfalls ihrer Einsicht. Gelang doch eine Erklärung der atmosphärischen Erscheinungen aus den Gesetzen der Reibungselektrizität erst im 18. Jahrhundert, während ein Verständnis der Gesetze der tierischen Elektrizität erst in der neuesten Periode, nach der Entdeckung des Galvanismus, anbrach. „Dem Zitterrochen steht ein gefährliches Gift zu Gebote", schreibt der griechische Verfasser eines im zweiten Jahrhundert n. Chr. entstandenen Werkes[2]), „von Natur ist er schwach und so langsam, daß es aussieht, als könne er nur kriechen. Er besitzt auf jeder Seite ein Gewebe, welches denjenigen, der es berührt, sogleich jeder Kraft beraubt, sein Blut erstarren macht und seine Glieder lähmt". Plinius ahnt schon, daß man es hier mit einem Vorgang ganz eigener Art zu tun hat, wenn er sagt[3]): „Der Zitterrochen lähmt selbst aus der Ferne, sobald er nur mit der Lanze berührt wird, den stärksten Arm. Man ersieht daraus, daß es unsichtbare Kräfte gibt". Daß auch der menschliche Körper wie die Lanze diese eigentümliche Wirkung fortzuleiten vermag, ist zwar eine Entdeckung der neueren Zeit, doch erwähnt ein anderer Schriftsteller des Altertums, daß schon Erschütterung eintritt, wenn man

---

1) So erwähnt Theophrast in seinem Buche über die Steine einen Edelstein, welcher durch Reiben elektrisch werde.

2) Oppian, de piscat. 2. 43.

3) Plinius, 32. 1 und 2.

Wasser aus einem Gefäß, in dem sich ein Zitterrochen befindet, auf die Hand oder den Fuß gieße[1]).

Erfreute sich die Physik im Altertum wenigstens auf einigen ihrer Gebiete schon einer wissenschaftlichen Behandlung, so war dies bezüglich der Chemie noch nicht der Fall. Hier konnte ein Einblick in das Wesen der Erscheinungen nur auf Grund zahlreicher, zielbewußter Versuche erlangt werden, und einer solchen Forschungsrichtung erwies sich die ältere Periode wenig geneigt. Was wir über die Anfänge der Chemie berichten können, ist, daß man durch die Heilkunde und durch die Gewerbe, insbesondere den Hüttenbetrieb, allmählich mit einer Anzahl von chemischen Vorgängen bekannt wurde, ohne daß es gelang, eine Verknüpfung dieser Vorgänge unter sich oder mit anderen Gruppen von Erscheinungen zu finden. Alle Erklärungen, die man für die stofflichen Veränderungen aufstellte, hatten nur den Wert bloßer Philosopheme, zu deren Prüfung man noch keine Mittel besaß.

Den größten Einfluß auf die weitere Beschäftigung mit chemischen Dingen hat wohl jene Lehre gehabt, welche die Welt auf einen einzigen Urstoff zurückführte, der sich den Sinnen in vier Erscheinungsformen, als Feuer, Erde, Luft und Wasser, offenbaren sollte. Im Einklang mit dieser Lehre stand auch das gegen den Ausgang des Altertums auftretende Bestreben, unedle Metalle in edle zu verwandeln, ein Problem, das während des ganzen Mittelalters als Ziel und Zweck der Chemie betrachtet wurde.

Die Kenntnis und die Verwendung der Metalle war im Altertum schon eine recht ausgedehnte. Blei z. B., das gleich dem Eisen sich nur selten als solches findet und aus Bleiglanz dargestellt wurde, fand schon im alten Rom zu Wasserleitungsröhren Verwendung. Zinn und Zink waren wahrscheinlich nicht in reinem Zustande, sondern nur als Bestandteile von Legierungen bekannt. Diese wurden erhalten, indem man Zinnstein oder den zinkhaltigen Galmei den Kupfererzen bei ihrer Verhüttung zusetzte. Auch die Gewinnung des Quecksilbers durch Erhitzen von Zinnober mit Eisen war schon im Altertum gebräuchlich.

Die Darstellung von chemischen Präparaten, soweit sie nicht durch bloße Oxydation entstehen, war kaum möglich, so lange man sich nicht im Besitze der Mineralsäuren befand. Mit ihrer Darstellung waren die Alten jedoch noch nicht vertraut. Die einzige ihnen bekannte Säure war eine organische, die Essigsäure.

---

[1]) Aelian, 9, 14.

Die Tatsache, daß Marmor und Kalkstein beim Glühen eine neue Substanz liefern, die, mit Wasser in Verbindung gebracht, ein vorzügliches Baumaterial abgibt, wußte man indes wohl zu verwerten. In der späteren Römerzeit finden wir auch Zement in Anwendung, ohne den manches gewaltige Bauwerk nicht ausführbar gewesen wäre. Auch daß der gebrannte Kalk die Soda ätzender macht, war schon im Altertum bekannt[1]). Dagegen blieb die chemische Natur gasförmiger Substanzen in Dunkel gehüllt. Zwar bemerkte man, daß bei der Gärung und an manchen Stellen der Erde ein Gas auftritt, das zur Atmung nicht geeignet ist. Es kam jedoch niemandem in den Sinn, in dieser Luftart ein von der natürlichen Luft verschiedenes Gas zu erkennen.

Einen gewaltigen Anstoß zur Beschäftigung mit stofflichen Veränderungen rief der Gedanke hervor, durch geeignete Behandlung könne aus unedlen Metallen Edelmetall gewonnen werden. Eine gewissermaßen theoretische Grundlage fand dieses Streben in der Lehre des Aristoteles. Das alchemistische Problem begegnet uns schon in den ersten Jahrhunderten n. Chr. in Ägypten bei Gelehrten der alexandrinischen Schule. Es stützte sich auf die während einer langen vorhergehenden Periode rein empirisch erworbenen, nicht unbeträchtlichen Kentnisse über die Metalle, ihre Gewinnung und ihre wichtigsten Legierungen. Auch für die Folgezeit kann man wohl sagen, daß die Geschichte der Alchemie und diejenige der Metallurgie im wesentlichen zusammenfallen[2]). Die Ägypter unterschieden nach Lepsius in ihren Inschriften acht mineralische Erzeugnisse, die sie für besonders wertvoll hielten. Es waren vor allem das Gold, die als Elektrum bezeichnete Legierung von Gold und Silber, das Silber und der Lapis lazuli. Bei den ersten Alchemisten spielte das Blei eine hervorragende Rolle. Da man aus dem Rohblei Silber abzuscheiden vermochte, glaubte man, das Blei sei für die Erzeugung von anderen Metallen hervorragend geeignet. Zinn findet sich zwar in den Bronzen der alten Ägypter. Wahrscheinlich kannten sie das reine Zinn aber nicht. Auch das Quecksilber, das seiner merkwürdigen Eigenschaften wegen bei den Alchemisten die größte Rolle spielte, war den alten Ägyptern wohl noch nicht bekannt. Es kam erst bei den Griechen und Römern in Gebrauch. Plinius nennt es eine beständige Flüssigkeit und ein Gift für alles[3]).

---

1) Meyer, Gesch. d. Chemie. S. 16.

2) Siehe auch Berthelot, Les origines de l'Alchémie. Paris 1885.

3) Liquor aeternus. venenum rerum omnium.

Nachdem durch lange Zeiträume chemische, vor allem metallurgische Einzelkenntnisse gesammelt waren, begegnet uns bald nach Beginn der christlichen Zeitrechnung die bestimmte, als Alchemie bezeichnete Richtung, deren Ziel die Umwandlung unedler Stoffe in edle Metalle war. Die älteste ägyptische Handschrift, die uns davon Kenntnis gibt, stammt aus dem 2. Jahrhundert n. Chr. Die Alchemie tritt uns in der Verbindung mit der Astrologie entgegen. Darauf deutet auch hin, daß dem Gold die Sonne, dem Silber der Mond und den übrigen Metallen die Planeten entsprachen.

Man hat sich bemüht, durch archäologische Nachforschungen in Ägypten Stätten nachzuweisen, wo man chemische Prozesse ausübte, sozusagen die Laboratorien jenes ersten alchemistischen Zeitalters und die in diesen Stätten zur Anwendung kommenden Gerätschaften. Der Erfolg ist bisher nur ein geringer gewesen. So beschreibt Berthelot[1]) nach den Angaben Masperos eine Stätte, die an eine Grabkammer stößt und die, nach allen Anzeichen zu urteilen, während des 6. Jahrhunderts unserer Zeitrechuung als Laboratorium gedient hat. Die Wände jener Stätte waren angeräuchert, und am Boden befand sich ein Herd aus Bronze und allerlei Gerät aus Bronze, Alabaster und anderen Mineralien.

Unter den alexandrinischen Gelehrten der späteren Zeit ist vor allem der zwischen 300 und 400 v. Chr. lebende Diophant, der letzte große Mathematiker des Altertums, zu nennen. Er schrieb ein Werk über Arithmetik, das etwa zur Hälfte erhalten geblieben ist.

Bei Diophant begegnen uns schon gewisse Zeichen und Abkürzungen, während vor ihm alle Rechnungen durch Worte auseinandergesetzt wurden und höchstens gewisse Fachausdrücke (wie bei den alten Ägyptern) wiederkehren. Für die Unbekannte (unser x) gebrauchte Diophant z. B. das Sigma ς, den einzigen griechischen Buchstaben, der keine bestimmte Zahl bedeutete. Für die zweite Potenz lautet sein Zeichen *δῦ* (*δύναμις* = Quadrat), für die dritte *κῦ* (*κύβος* = Würfel). Für die sechste Potenz schrieb Diophant *κῦ κῦ*. Höhere Potenzen kommen bei ihm nicht vor. Für die Subtraktion verwendet er ein besonderes Zeichen (⋔ = umgekehrtes *ψ*). Zu addierende Größen dagegen werden ohne ein Zeichen nebeneinander gestellt. Selbst das Gleichheitszeichen (*ι* als Abkürzung von *ἴσοι*, gleich) fehlt nicht[2]). Diese Beispiele zeigen zur Genüge, daß uns bei Diophant schon ein Ver-

[1]) Berthelot, Les origines de l'Alchémie. I. S. 236.

[2]) Cantor, Geschichte der Mathematik. Bd. I. S. 402.

fahren begegnet, das seine hervorragenden Leistungen erklärlich macht. Ein wesentlicher Mangel der diophantischen Algebra besteht jedoch darin, daß sie den Gegensatz von positiv und negativ noch nicht kennt. Dies hat darin seinen Grund, daß Diophant nur Differenzen bildet, bei welchen der Minuend größer als der Subtrahend ist. Eine größere Zahl von einer kleineren abzuziehen, die algebraische Operation, die ja zum Begriff der negativen Zahl geführt hat, erschien ihm als etwas Unmögliches. Führte die Lösung einer Gleichung auf negative Werte, so erklärte Diophant einen derartigen Fall für unzulässig. Eine Rolle spielte diese Beschränkung besonders bei der Auflösung quadratischer Gleichungen, mit welcher Diophant sich sehr vertraut zeigt. Bei ihm begegnet uns auch die erste kubische Gleichung. Doch bleibt der Fall vereinzelt. Auch ließ sich die betreffende Gleichung auf einen niedrigeren Grad reduzieren[1]). Diophant findet daher auch die Lösung, ohne jedoch sein Verfahren anzudeuten.

Die Stellung, welche Diophant in der Entwicklung der Wissenschaften einnimmt, ist eine ganz einzigartige. Einmal treten uns die Schöpfungen dieses Mannes, die von allem, was vor ihnen liegt, so sehr verschieden sind, ganz unvermittelt entgegen. „Eine ganz andere Luft weht in den Schriften dieses Arithmetikers als in denjenigen der klassischen Geometer“[2]). Und wie es an nachweisbaren Vorstufen und Vorläufern fehlt, so mangelt es in dem auf Diophant folgenden Jahrtausend auch an Mathematikern, welche das von ihm Begonnene fortgesetzt hätten. Erst zu Beginn der neueren Periode vermochte man an Diophant anzuknüpfen und eine höhere Mathematik zu schaffen, deren wichtigstes Element, wie bei Diophant, allgemeine Zahlen, für sich betrachtet und in ihrer Beziehung zu geometrischen und physikalischen Größen, sind.

Mit der zweiten Blüteperiode der alexandrinischen Schule und dem mehr kommentierenden Verhalten, das die Römer den Naturwissenschaften entgegenbrachten, ist die Entwicklung, welche diese Wissenschaften im Altertum erfuhren, beendet. Es trat nunmehr eine lange Zeit des Stillstandes, ja des Verlustes an manchem erworbenen Besitz ein, die sich etwa mit demjenigen Zeitraum deckt, den man in der Weltgeschichte als das Mittelalter bezeichnet. Erst im 13. Jahrhundert mehren sich, abgesehen von vereinzelten

---

1) Diophant, lib. VI. 19. Näheres siehe Cantor, I. S. 407.

2) H. Hankel, Die Entwicklung der Mathematik in den letzten Jahrhunderten. S. 10.

Regungen, auf die wir näher eingehen werden, die Anzeichen, die auf ein Wiederaufleben der Wissenschaften schließen lassen. Und erst, nachdem man das Studium der alten Literatur auf allen Gebieten aufgenommen, nachdem in Italien und den benachbarten Ländern im 15. und 16. Jahrhundert die Kunst geblüht, nachdem endlich der geographische Gesichtskreis sich über die ganze Erde ausgedehnt, sowie die allgemeine Kultur sich beträchtlich gehoben hatte, sehen wir mit dem Anfange des 17. Jahrhunderts eine neue Blüte der Naturwissenschaften anheben, welche dem geistigen Leben der letztverflossenen Jahrhunderte den Stempel aufgedrückt hat. Ja, dieser neue Aufschwung ist so eng mit der gesamten Kultur unseres Zeitalters verknüpft, daß ein abermaliger Verfall der Wissenschaften zugleich das Ende dieser Kultur bedeuten würde. Man hat viel nach den Gründen der Erscheinung gesucht, daß die Wissenschaft und die Kultur des Altertums untergegangen sind und das menschliche Geschlecht während eines Zeitraums von 1000 Jahren fast dem Stillstande verfallen war. Ist doch unsere Zeit von dem Gefühl beherrscht, daß sich die Menschheit auf der Bahn, die sie seit dem Ausgang des Mittelalters eingeschlagen hat, in einem unaufhaltsamen Fortschritt zu weiterer Erkenntnis und höherer Gesittung befindet. Ein wichtiger Grund, der diesem Gefühle Sicherheit verleiht, besteht darin, daß die neuere Wissenschaft eine gewaltige Technik ins Leben rief, wie sie das Altertum, während dessen das gewerbliche Schaffen wesentlich auf der Stufe eines noch nicht von wissenschaftlichen Grundsätzen durchdrungenen Handwerks verblieb, nicht kannte. Dadurch, daß sich in der Neuzeit der Mensch auf dem Wege des experimentellen Verfahrens zum Herren der Naturkräfte machte, erfuhr die Wissenschaft eine weit innigere Verschmelzung mit der gesamten Kultur, als dies im Altertum der Fall gewesen.

Es hat nicht an Verkleinerern der wissenschaftlichen Leistungen des Altertums gefehlt. So sagt H. v. Mohl in einer 1863 gehaltenen Rede von den Alten: „Sie blieben in den Naturwissenschaften auf einer durchaus kindlichen Stufe und bieten ein Beispiel dafür, daß der höchste philosophische Scharfsinn unfähig ist, in den Naturwissenschaften etwas zu leisten, wenn er sich nicht auf die genaue Erforschung der Körper stützt.“ Wie Mohl, so urteilten die meisten Naturforscher während des größten Teiles des 19. Jahrhunderts. Erst in den letzten Jahrzehnten, nachdem der Sinn für die Geschichte der Wissenschaften bei ihren Vertretern lebendiger wurde, ist man anderer Ansicht geworden. Und

der ganze Gang unserer bisherigen Betrachtung hat zur Genüge gezeigt, daß ein Urteil wie dasjenige von Mohls, in seiner Allgemeinheit wenigstens, nicht zutrifft.

Man darf nicht vergessen, daß im Altertum überall erst die Grundlagen ohne jedwede Vorarbeit geschaffen werden mußten. Mag man auch zugeben, daß die Alten auf den Gebieten der Mathematik, der Dichtkunst und der Philosophie mehr leisteten als auf demjenigen der Naturwissenschaften, so kann sie deshalb doch kein Vorwurf treffen. Ihre Beobachtungen konnten nicht weiter gehen, als die unbewaffneten Sinne reichen. Und das bloße Nachdenken auf Grund einer nur oberflächlichen, nicht durch besondere Hilfsmittel geschärften Beobachtung, sowie der Mangel einer induktiven Forschungsweise mußten auf manchen Irrweg führen. Erst als gegen das Ende des Mittelalters das Bewußtsein durchbrach, „daß bloßes Spekulieren nichts helfe, daß nicht nur die Tatsachen, sondern auch ihre Gründe erkundet werden müßten", erstand eine im modernen Sinne ausgeübte Forschung[1]).

Die erwähnten Mängel des Altertums waren insbesondere die Ursache, daß politische und religiöse Umwälzungen von solchem Umfang eintraten, wie sie der neueren Kulturwelt, der vielleicht andere Gefahren drohen, aller Voraussicht nach erspart bleiben werden. Es war der durch eine jahrhundertlange Zersetzung vorbereitete, durch den Ansturm der germanischen Stämme herbeigeführte Zerfall des Römerreiches, sowie die Überwindung des Heidentums — oder der angesichts der Unhaltbarkeit des Götterglaubens eingetretenen Indifferenz — durch das Christentum und den Islam. Von diesen wirkte das erstere mehr innerlich, indes nachhaltiger, während der Islam, das Feuer und das Schwert mit dem Bekehrungseifer verbindend, unmittelbarer in die Geschicke eines großen Teiles der Welt eingriff. Mit dem zunächst zersetzenden Wirken all dieser Einflüsse beginnt für die allgemeine Geschichte wie für die Geschichte der Wissenschaften das Mittelalter, dem wir uns jetzt zuwenden wollen.

1) Lindner, I. 34.

8. Der Verfall der Wissenschaften zu Beginn des Mittelalters.

Der tiefste Eingriff, den die Entwicklung der allgemeinen Kultur und der Wissenschaft erlitt, bestand in der Vernichtung des römischen Weltreichs durch die germanischen Völker. Die meisten Städte wurden zerstört. An die Stelle des Städtewesens, das in Griechenland wie in Italien zu hoher Blüte gelangt war und allein die feineren, auf Kunst und Wissenschaft gerichteten Kräfte zu entwickeln vermochte, trat wieder eine mehr ländliche, den geistigen Bestrebungen abholde Lebensweise. Die Bevölkerung der Städte, wie diejenige der Mittelmeerländer im allgemeinen, verminderte sich trotz des Zuflusses von neuen, erobernd einbrechenden Völkermassen. Unermeßlich waren auch die Verluste an den seit Jahrtausenden in den alten Städten aufgespeicherten Schätzen der Kunst und Wissenschaft. Hatte doch Rom z. B. zu Beginn des fünften nachchristlichen Jahrhunderts, von den ältesten Zeiten abgesehen, noch nie einen Feind in seinen Mauern beherbergt. Zwar hatten blutige Kämpfe in seinen Straßen getobt, doch war eine Verwüstung und Plünderung bis dahin von Rom ferngehalten worden. Das erste Ereignis dieser Art erfolgte durch Alarich und seine Westgoten im Jahre 410. „Ungeheuer war der Eindruck auf die Zeitgenossen. Die römische Welt zuckte von Riesenschmerz überwältigt zusammen[1]“. Auf diese erste Verwüstung folgten andere, weit schlimmere. Nicht nur Rom, sondern auch andere Zentren der geistigen und künstlerischen Bestrebungen wurden von solchen Ereignissen heimgesucht. Unter diesen Verhältnissen war der Zerfall des gewaltigen römischen Weltreiches unausbleiblich. Der Historiker, der es liebt, seinen Einteilungen in die Augen springende Ereignisse zugrunde zu legen, läßt daher das Mittelalter mit dem Eintritt der Völkerwanderung oder mit der Errichtung der ersten germanischen Herrschaft auf italischem Boden beginnen. In der Geschichte der Wissenschaften hat man wohl nach ähnlichen, epochemachenden Ereignissen gesucht und die Zerstörung Alexandriens durch die Araber im Jahre 642 als ein

---

[1]) Lindner, Weltgeschichte seit der Völkerwanderung. I. 96.

solches betrachtet. Man darf jedoch nicht vergessen, daß auf diesem Gebiet die Ereignisse geräuschlos vor sich gehen, daß es wohl von den Katastrophen der Weltgeschichte beeinflußt wird, aber niemals den Charakter einer ruhigen Entwicklung verleugnet.

Der Geist der zweiten alexandrinischen Blüteperiode war um das Jahr 600 längst erloschen. Die alexandrinischen Gelehrten verstanden die alten Schätze, von denen das meiste schon vernichtet war, kaum noch zu hüten. Seitdem moralische Fäule auf der einen und das der Welt mit ihrem Wissen abgewandte Christentum auf der anderen Seite das Leben immer mehr durchdrangen, also schon eine ganze Reihe von Jahrzehnten vor dem endgültigen Siege des germanischen Elementes, fanden auch in Rom die Wissenschaften nicht mehr die frühere Pflege. Rom und Alexandrien wurden die Hauptsitze der christlichen Kirche. Und diese kehrte sich, da es ihr Ziel war, die antiken Elemente zu überwinden und neue an deren Stelle zu setzen, in mißverstandener Auslegung der heiligen Schriften auch gegen die antike Wissenschaft. Das Verhältnis der Seele zu Gott und gar nichts anderes sollte erkannt werden; dies allein hielt man für erkennbar. Der Verstand dagegen galt als machtlos. Nur die durch Gottes Gnade geschehene Offenbarung sollte imstande sein, die Menschen zu erleuchten [1]). „Forschung“, sagt Tertullian [2]), „ist nach dem Evangelium nicht mehr vonnöten“. Und Eusebius meint von den Naturforschern seiner Zeit: „Nicht aus Unkenntnis der Dinge, die sie bewundern, sondern aus Verachtung ihrer nutzlosen Arbeit denken wir gering von ihrem Gegenstande und wenden unsere Seele der Beschäftigung mit besseren Dingen zu“. Konnten doch diese Kirchenväter der ältesten christlichen Zeit selbst Meinungen heidnischer Philosophen für ihre Ansicht ins Feld führen, wie diejenige des Sokrates, welcher die menschliche Seele mit ihren inneren Zuständen für den einzigen, des Nachdenkens würdigen Gegenstand erklärt hatte. Mit einem wahren Ingrimm wandten sich die ersten christlichen Gelehrten gegen den von Leukipp, Demokrit und Epikur herrührenden Versuch einer mechanischen Welterklärung. „Es wäre mir besser“, ruft Augustinus aus, „ich hätte den Namen Demokrits nie vernommen“. Die Atomisten werden als blinde und bedauernswerte Menschen bezeichnet. Besonders eifert gegen sie der alexandrinische Bischof

1) K. Lasswitz, Geschichte der Atomistik. Bd. I. S. 12.

2) Tertullian, de praescr. haeretic. cap. 7.

Dionysius der Große in seiner Schrift „Über die Natur[1])“. Die Mitteilungen, welche Dionysius über die Lehren der Atomisten macht, dienen trotz ihrer polemischen Richtung als wertvolle Quelle über diesen wichtigen Abschnitt der griechischen Philosophie.

Dionys bekämpft die Atomisten vor allem, indem er die Zweckmäßigkeit der Welt betont und für das Kunstwerk, als welches sie dem Menschen erscheint, in Gott den Künstler und Schöpfer erblickt. Kann doch nicht einmal, so etwa lauten einige seiner Ausführungen, ein Kleid oder ein Haus von selbst entstehen, sondern es bedarf dazu einer geregelten Leitung. Und nun soll das große, aus Erde und Himmel bestehende Haus, der Kosmos, die Ordnung selbst, aus dem Chaos geworden sein. Zu den Gestirnen übergehend sagt er: „Aber wenn auch jene Elenden es nicht wollen, so ist es doch, wie die Gerechten glauben, der große Gott, der sie gemacht hat und durch seine Worte ihre Bahn leitet“. Weder der Bau der menschlichen Organe und ihr Zusammenwirken, noch weniger aber die geistige Tätigkeit sind, wie Dionys ausführt, mit der Atomenlehre vereinbar. Der Philosoph könne seine Vernunft doch nicht von den vernunftlosen Atomen erhalten haben.

Während Dionys der mechanischen Naturerklärung gegenüber den Standpunkt des eifernden Theologen einnimmt und mit Gründen ficht, die sich der wissenschaftlichen Diskussion entziehen, erhebt Lactantius gegen die atomistische Lehre physikalische und philosophische Einwürfe. Lactantius fragt, woher denn jene Teilchen stammen sollten und wie sich ihr Dasein beweisen lasse, da niemand sie gesehen oder gefühlt habe. Aber, selbst das Vorhandensein der Atome zugegeben, würden diese leichten und runden Teilchen doch keinen Zusammenhang äußern und feste Körper bilden können. Wolle man, um dieser Schwierigkeit zu begegnen, den Atomen Ecken und Haken beilegen, so habe man keine Atome mehr, da solche Hervorragungen doch abgetrennt werden könnten. Das Bemühen, die Gesetzmäßigkeit des Geschehens zu erklären oder sie auch nur zu verfolgen, wurde abgelehnt. Und dieser Standpunkt, den die Kirche einnahm, hat sich mit wenigen Zugeständnissen an die Fortschritte der Wissenschaft durch die

---

1) Bedeutende Fragmente dieser Schrift sind als Bestandteile der Werke von Eusebius auf uns gekommen (Ausgabe von Dindorf, Leipzig 1867. Bd. II. S. 321). Eine Übersetzung dieser Fragmente enthält: Georg Roch, Die Schrift des alexandrinischen Bischofs Dionysius des Großen „Über die Natur“. Leipzig 1882.

Jahrhunderte in ihr erhalten. „Je mehr[1]) die Macht der christlichen Lehre fortschreitet, um so mehr schwindet das Verständnis für die kausale Erklärungsweise. Das Wunder reicht überall aus. Was also sollen die Bemühungen, Erklärungen aufzufinden?"

Dies Verhalten, welches die Kirchenlehrer der naturwissenschaftlichen Erklärungs- und Betrachtungsweise gegenüber einnahmen, ist bei dem Ansehen, das ihre Schriften bis in die neuere Zeit genossen, für die weitere Entwicklung von schlimmen Folgen gewesen. Es erregte auch sehr oft den Fanatismus der Menge, welche sich keineswegs mit dem Streit der Meinungen begnügte, sondern nicht nur gegen die Wissenschaft, sondern auch gegen ihre Denkmäler und Schätze zu Felde zog. So wurde z. B., lange bevor die Araber Alexandrien einnahmen, in dieser Stadt, unter der Führung eines christlichen Patriarchen, die wertvolle Bibliothek des Serapeions den Flammen überliefert. Schon im dritten Jahrhundert hatte ein Patriarch die Gelehrten der alexandrinischen Akademie vertrieben. Unter Kaiser Julian durften sie zurückkehren. Indessen unter Theodosius begann die Verfolgung von neuem. Damals war es, daß der Patriarch Theophilos sich von dem Kaiser die Erlaubnis erwirkte, das Serapeion zerstören zu dürfen. Mit dem gleichen Unverstand, wie gegen die weltliche Wissenschaft, verfuhren die ersten Bekenner des neuen Glaubens auch gegen die von den Alten überlieferte Heilkunde. Krankheit wurde mit Gebet und Beschwörung bekämpft oder gar als eine Strafe Gottes betrachtet, in die man sich willenlos fügen müsse, während glückliche Heilungen als Teufelswerk galten.

Sogar die Lehre von der Kugelgestalt der Erde, eine Lehre, die auf ein Alter von Jahrhunderten zurückblicken konnte und die allein die geographische Ortsbestimmung ermöglichte, ging im Mittelalter, nachdem Kirchenväter wie Lactantius sie verdammt hatten, verloren oder wurde wenigstens durch mystische Vorstellungen verdunkelt. So begegnen wir der Ansicht, daß die Erde ein Hügel sei, um den sich die Sonne im Laufe eines Tages bewege. Augustin sprach sich gegen die Existenz von Antipoden aus, weil ein Geschlecht dieser Art in der heiligen Schrift unter den Abkömmlingen Adams nicht aufgeführt werde. Bei Rhabanus Maurus besitzt die Erde eine radförmige Gestalt und wird vom Ozean umflossen. Welcher Rückschritt gegenüber den Astronomen der alexandrinischen Schule und den Arabern! Befanden sich die

1) So sagt Lasswitz in seiner trefflichen Darstellung der Atomistik im Mittelalter (K. Lasswitz, Gesch. d. Atomistik, Bd. I. S. 29).

Gelehrten des frühen Mittelalters mit ihrer Weltauffassung doch fast auf dem naiven Standpunkt, den Hesiod im 8. Jahrhundert v. Chr. einnahm.

In demselben Maße bildungsfeindlich wie das Christentum, wenn auch aus anderen Gründen, verhielt sich die zweite Macht, die von der Welt auf den Trümmern der Antike Besitz ergriffen hatte, das Germanentum. Seine Träger waren Volksstämme, die erst von dem Augenblicke an, in dem sie mit der alten Kultur in Berührung gekommen waren, in das Licht der Geschichte traten. Ihnen galten nicht nur die zivilisierten Bewohner des südlichen Europas, sondern auch deren Geisteserzeugnisse zunächst als feindliche Mächte. So erzählt Prokop von den Goten, die nach den langen Wirren der Völkerwanderung in Italien zuerst wieder geordnete Verhältnisse schufen, sie seien der Ansicht gewesen, daß derjenige, der die Rute des Lehrers gefürchtet, keinem Schwert und keinem Speer mehr festen Blickes begegnen könne.

Bedenkt man nun, daß diese beiden Mächte, das Christentum und das Germanentum, das eine geistig, das andere physisch, von dem abendländischen Teil der alten Welt Besitz ergriffen, während bald darauf im Morgenlande der Islam mit ähnlichen Tendenzen ins Leben trat, so läßt es sich begreifen, daß die im Altertum gegründete Wissenschaft in dem Geistesleben des Mittelalters zunächst keinen Platz fand. Man wird vielmehr darüber staunen, daß diese Wissenschaft Kraft genug besaß, nicht gänzlich unterzugehen, sondern unter der Asche fortzuglimmen, bis sie, seit dem 13. Jahrhundert etwa, von neuem entfacht wurde.

Einer Fortentwicklung der vom Altertum geschaffenen Anfänge wirkte nicht nur die bildungsfeindliche Tendenz entgegen, welche dem Christentum und dem Germanentum zu Beginn ihres Auftretens innewohnte, es brach auch eine Summe von Geschehnissen über die alte Kulturwelt herein, die an Furchtbarkeit nicht ihresgleichen hatten und das südliche Europa in einen Trümmerhaufen verwandelten, so daß dort der Wohlstand, der doch bis zu einem gewissen Grade die Vorbedingung aller Kunst und Wissenschaft ist, vernichtet wurde.

Während sich das oströmische Reich einer gewissen Beständigkeit erfreute, wurde der Westen ein Spielball der germanischen Stämme. Auf die Verwüstung durch die Goten folgte der Einfall der Vandalen, die überall Trümmerhaufen als die Spur ihrer Züge zurückließen. „Sie zerstörten alles“, berichtet der Chronist von

ihnen[1]), „was sie fanden. Die Pest konnte nicht verheerender sein. Auch wütete eine fürchterliche Hungersnot, so daß die Überlebenden die Körper der Gestorbenen verzehrten.“ Es klingt kaum glaublich, wenn uns die Geschichtschreiber jener Zeiten erzählen, daß man Festungen durch den Leichengeruch zur Übergabe zwang, indem man die Gefangenen vor den Wällen niedermetzelte.

Fast zur selben Zeit, als die Vandalen Rom plünderten, wurde Oberitalien durch die Hunnen verwüstet, deren Zug durch die von Aëtius gewonnene Schlacht bei Châlons nach Süden abgelenkt worden war. Nach diesen völkermordenden Kriegen nahmen totbringende Seuchen von dem aus vielen Wunden blutenden Europa Besitz. Vielleicht war infolge der vorhergegangenen Ereignisse eine allgemeine Schwächung der europäischen Menschheit eingetreten und dadurch der Pest der Boden bereitet worden. Zum ersten Male hatte diese Geißel unter Marc Aurel ihren Zug durch das römische Reich gehalten und weit mehr Opfer gefordert, als die Seuchen der Neuzeit. Nach dem von Prokop, dem Geheimschreiber Belisars, hinterlassenen Bericht wütete die Pest volle 50 Jahre im ganzen römischen Reiche dermaßen, daß in Italien stellenweise der Wein und das Getreide vermoderten, weil es an Arbeitskräften fehlte.

Allmählich erhoben sich indes aus der Verworrenheit und Verwüstung, welche die ersten Jahrhunderte des Mittelalters kennzeichnen und das völlige Erlahmen des wissenschaftlichen Geistes begreiflich erscheinen lassen, gefestigte Verhältnisse. Rom war dadurch, daß es im fünften Jahrhundert in den Besitz der kirchlichen Vorherrschaft gelangt war, wieder, wenn auch in anderem Sinne als im Altertum, zum geachteten Mittelpunkt des Abendlandes, und die römische Sprache zur Weltsprache geworden. Benedikt von Nursia hatte im Anfang des folgenden Jahrhunderts das Klosterwesen in Westeuropa begründet. Der Gedanke, sich um der Erfüllung religiöser Pflichten willen von der Welt zurückzuziehen, ist orientalischen Ursprungs und schon dem Heidentum des Orients geläufig. Er ergriff mit besonderer Macht die ersten Christen, welche die Satzungen der neuen Religion mit den Forderungen und Schwierigkeiten des Lebens nicht in Einklang zu bringen vermochten. So sehen wir bald nach der Ausbreitung des Christentums Tausende sich in entlegene Teile Syriens und Ägyptens zurückziehen. Es entstand ein von bestimmten Regeln abhängiges Mönchs-

---

[1]) Nach Whewell, Geschichte der induktiven Wissenschaften. 1840. Bd. I, 133.

tum, das für jene Zeiten eine berechtigte Erscheinung war und die Erhaltung der geistigen Kultur begünstigte. Schon um die Mitte des 4. Jahrhunderts verbreitete sich das Mönchswesen besonders durch den Bischof Basilius den Großen in Kleinasien und auf der Balkanhalbinsel. Bald fand es auch im weströmischen Reiche Eingang, wo namentlich Augustinus für diese Form des religiösen Lebens den Boden bereitet hatte. Benedikt von Nursia, dem Gründer von Monte Cassino, gebührt das große Verdienst, daß er zuerst die umherschweifenden, zuchtlosen, dem Mönchstum ergebenen Scharen zum Zusammenleben und zu geordneter Tätigkeit zwang. Die Beschäftigung mit den Wissenschaften bezeichnete er als eine der wichtigsten Pflichten seines Ordens. „Den Klöstern", sagt Lindner[1], verdanken wir alles oder das weitaus meiste, was von antik-lateinischen Schriften und selbst von den alten germanischen auf uns gekommen ist, sie haben den Rückweg zum Altertum offen gehalten."

Zwar, das Studium der nicht philosophischen Schriften des Altertums wurde von den kirchlichen Machthabern nur ungern gesehen. So begegnet uns um 1200 ein Verbot[2], welches den Mönchen das Lesen physikalischer Schriften als sündhaft untersagte. Im ganzen war jedoch die Tätigkeit der Orden auf die Erhaltung der alten Schriftwerke und die Ausbreitung der Bildung gerichtet, so daß die Benediktiner mit Recht den Wahlspruch „Ex scholis omnis nostra salus" führen konnten.

Auch im politischen Leben Italiens machte die Brandung, welche dort Jahrhunderte gewütet, endlich einer ruhigen Entwicklung der Dinge Platz. Während der ersten Hälfte des sechsten Jahrhunderts herrschten hier die Ostgoten. Unter ihrem großen König Theoderich (475—526), der eine Verschmelzung des germanischen mit dem römischen Element herbeizuführen suchte, erlebte das Land sogar einen kurzen Aufschwung. Der wissenschaftliche Sinn wurde von neuem lebendig, die Schulen blühten und die Gelehrten wurden wieder geachtet[3]. In diesem Zeitraum verdienen besonders Cassiodor und Boëthius Erwähnung.

Cassiodor wurde in Süditalien geboren und war um 500 Theoderichs Geheimschreiber und Ratgeber. Nach der Besiegung der Ostgoten durch die Byzantiner zog er sich in die klösterliche

[1]) Lindner, Weltgeschichte. Bd. I. S. 305.

[2]) Erlassen auf der Kirchenversammlung zu Paris vom Jahre 1209. Siehe auch von Humboldts Kosmos II. S. 31, sowie die bezügliche Anmerkung.

[3]) Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie. Bd. I, 82.

Einsamkeit zurück. Durch ihn und Benedikt von Nursia, der im Jahre 529 das Kloster zu Monte Cassino bei Neapel gestiftet hatte, wurde an Stelle der früheren Beschaulichkeit der Mönche rege Tätigkeit als oberster Grundsatz hingestellt. Unermüdlich wurden in schöner Schrift die im Besitze der Klöster befindlichen Werke auf Pergament übertragen und so neben manchem Wertlosen doch auch das Wertvolle der Nachwelt erhalten. Cassiodor selbst empfiehlt das Abschreiben von Büchern den Mönchen als die verdienstlichste Arbeit. Seine letzte Schrift verfaßte er im 93. Lebensjahre. Er hinterließ 12 Bücher Briefe[1]) und eine Enzyklopädie[2]) der sogenannten freien Künste (Grammatik, Rhetorik, Dialektik, Arithmetik, Musik, Geometrie und Astronomie). Indessen handelt es sich für ihn nicht um eine ausführliche Darstellung dieser Wissenszweige, sondern mehr um eine Aufzählung derjenigen griechischen und lateinischen Schriftsteller, deren Studium dem Anfänger zu empfehlen sei. Das Urbild derartiger, im Mittelalter so häufigen Sammelwerke über die freien Künste rührt von Marcus Terentius Varro her, der im 1. Jahrhundert v. Chr. lebte und neun Wissenschaften encyklopädisch behandelte. Außer den genannten sieben hatte Varro nämlich auch die Medizin und die Baukunst in Betracht gezogen. Der in einer Geschichte der Wissenschaften Erwähnung verdienende Genosse Cassiodors war der aus altem römischen Geschlecht entstammende Boëthius. Nachdem er in seiner Vaterstadt die höchsten Ämter bekleidet, fiel er in Ungnade und wurde nach längerer Gefangenschaft enthauptet. Im Kerker entstand seine berühmte Schrift „Über die Tröstungen der Philosophie“, ein Werk, das in viele Sprachen übersetzt wurde[3]). Boëthius machte das Studium der griechischen Schriftsteller wieder zugänglich, indem er sie in das Lateinische übersetzte und erläuterte. Cassiodor, der Geschichtsschreiber der Ostgotenzeit, hat der Nachwelt eine Stelle aus einem Briefe Theoderichs an Boëthius aufbewahrt, welche den König wie den Empfänger in gleicher Weise ehrt. „In deinen Übertragungen“, heißt es in diesem Schreiben, „wird die Astronomie des Ptolemäos, sowie die Geometrie des Euklid lateinisch gelesen. Platon, der Erforscher göttlicher Dinge, und Aristoteles, der Logiker, streiten in der Sprache Roms. Auch Archimedes, den Mechaniker, hast du lateinisch wiedergegeben. Welche Wissen-

1) Variarum (epistolarum) libri XII.

2) De artibus ac disciplinis liberalium literarum.

3) De consolatione philosophiae.

schaften und Künste auch das fruchtbare Griechenland erzeugte, Rom empfing sie in vaterländischer Sprache durch deine Vermittlung"[1]. Ein Lieblingsgebiet des Boëthius war die Musik und die Akustik. Er stellte zahlreiche Versuche mit dem Monochord und mit Pfeifen an und schrieb ein Werk über die Musik[2], in welchem manche klare Anschauung entwickelt ist. Wichtiger ist dieses Buch aber dadurch, daß wir uns danach eine Vorstellung von der Tonkunst des Altertums und des früheren Mittelalters machen können. Auch der Astronomie und der Physik brachten die Goten, geschichtlichen Berichten zufolge, ein großes Interesse entgegen.

Leider sollte dieser hoffnungsvolle Ansatz, den der italische Boden gezeitigt, noch in der Blüte geknickt werden. Ebenso rasch, wie das Ostgotenreich emporgekommen war, wurde es durch die furchtbaren Kriege, welche der oströmische Kaiser gegen die Ostgoten führte, wieder hinweggefegt. Zehn Jahre später fiel das verwüstete Italien in die Hände der Langobarden. Einen ähnlichen Aufschwung, wie zur Zeit der Ostgoten, hat es unter der, Jahrhunderte dauernden Herrschaft dieses Volkes nicht wieder erlebt. Doch fand in dieser verhältnismäßig ruhigen Zeit eine allmähliche Verschmelzung des germanischen Elementes mit dem römischen statt, wodurch die Vorbedingung für eine höhere Kultur geschaffen wurde.

Neben Cassiodor und Boëthius verdient für dieses Zeitalter der Bischof Isidor von Sevilla erwähnt zu werden. Er wurde im Jahre 570 in Cartagena geboren und starb 636. In einem, aus 20 Büchern bestehendem Werk, welches den Titel „Origines" (die Ursprünge) führte, gab er, wie es Cassiodor und Martianus Capella getan, eine Art Enzyklopädie der Wissenschaften heraus. Die „Origines" berücksichtigen nicht nur die freien Künste, das Trivium (Grammatik, Rhetorik und Dialektik) und das Quadrivium (Arithmetik, Musik, Geometrie und Astronomie), sondern auch die Medizin, die Naturgeschichte, die Geographie usw. Das Werk verdrängte die Enzyklopädien des Cassiodor und des Martianus Capella und war neben Plinius und Aristoteles bis gegen das Ende des Mittelalters für alle späteren Sammelwerke die wichtigste Fundgrube. Es führt auch wohl den Titel „Die Etymologien" (Libri originum seu etymologiarum). Dementsprechend

[1]) Cassiodorus, Varia I. 45.

[2]) Boëthius, Fünf Bücher über Musik. Deutsch von Oscar Paul, Leipzig 1880.

finden wir für jeden Gegenstand die Etymologie des Namens an die Spitze gestellt, ja oft allein gegeben.

Männer, wie die Genannten, haben das Vorhandene nicht vermehrt, sondern, wie Plinius, als literarische Sammler gewirkt. Als solche sind sie aber für die Erhaltung des Wissens und des wissenschaftlichen Interesses für das ganze Mittelalter von Bedeutung gewesen. Fast allen lag es daran, die Beschäftigung mit den Wissenschaften in weitere Kreise zu tragen, indem sie für die Verbreitung und Verbesserung des Schulwesens wirkten. Das ist nicht nur Cassiodor und Rhabanus Maurus, sondern auch Isidor von Sevilla nachzurühmen.

9. Das arabische Zeitalter.

Ein neuer Anlaß zur Beschäftigung mit der Wissenschaft des Altertums sollte im Abendlande nicht mehr, wie zur Zeit Theoderichs, auf eigenem Boden ersprießen, sondern von einem orientalischen Volke ausgehen, das bis dahin kaum eine Rolle gespielt hatte. Diese Erscheinung ist eine der merkwürdigsten, die uns in der Entwicklung der Wissenschaften begegnet, weshalb wir ihr eine etwas eingehendere Betrachtung schenken müssen. Während das Christentum die abendländischen Völker durchdrang, bemächtigte sich der Islam des gesamten Orients. Die Ausbreitung der neuen Lehre erfolgte durch Feuer und Schwert und ging Hand in Hand mit der Errichtung eines Weltreiches durch die Araber. Auch die letzteren traten, wie die ersten Bekenner des Christentums, den vorhandenen Bildungselementen zunächst feindlich gegenüber. Von fanatischem Eifer verblendet, soll Omar dem arabischen Feldherrn, der Alexandrien eroberte, den Befehl zur Vernichtung der noch vorhandenen Bücherschätze mit den Worten gegeben haben: „Wenn diese Bücher das enthalten, was im Koran steht, so sind sie unnütz, wenn sie etwas anderes enthalten, so sind sie schädlich. Sie sind deshalb in beiden Fällen zu verbrennen“.

Nach anderen Nachrichten[1]) soll dieses Wort bei der Eroberung Persiens gefallen sein. Bei diesem Ausspruch und manchen anderen, geschichtlichen Persönlichkeiten zugeschriebenen Worten, ist der Nachweis, daß es sich um eine verbürgte Äußerung handelt, in vielen Fällen nicht zu erbringen. Wenn sie trotzdem, wie beispielsweise Galileis Wort: „Und sie bewegt sich doch“ in der Geschichte

---

[1]) Ich verdanke darüber Herrn Prof. E. Wiedemann folgende Bemerkung: Es scheint, als ob ein Ereignis, das sich in Persien abgespielt hat, auf Ägypten übertragen wurde. Ibn Khaldun, ein arabischer Historiker, bemerkt: Wir wissen, daß die Mohammedaner bei der Eroberung Persiens eine Unzahl von Büchern vorfanden und daß ihr Feldherr Saad Ibn Abi beim Kalifen Omar anfragte, ob diese Bücher mit der Beute an die Gläubigen zu verteilen seien. Omar antwortete: Wirf sie ins Wasser. Enthalten sie etwas, was zur Wahrheit führt, so haben wir von Gott, was uns noch besser dahin leitet. Enthalten sie aber Falsches, so sind wir derselben ledig. Infolge dieses Befehles vernichtete man die Bücher durch Wasser oder Feuer.

der Wissenschaften Erwähnung finden, so geschieht dies, weil sie häufig Personen, Zeitverhältnisse oder geistige Strömungen vortrefflich kennzeichnen.

Wie groß der Verlust an Bücherschätzen infolge der von den Arabern zu Beginn ihres Auftretens bewiesenen Zerstörungswut gewesen ist, läßt sich nicht mehr ermessen. Die Verluste begannen schon weit früher, nämlich zur Zeit der Belagerung Alexandriens durch Julius Caesar. Bei dieser Gelegenheit verbrannte ein Teil des Serapeions. Unter Kleopatra wurden diese Verluste jedoch durch die Erwerbung der pergamenischen Bibliothek ausgeglichen. Eine abermalige Zerstörung des Serapeions fand unter Theodosius statt. Es wurde jedoch soviel gerettet, daß eine neue Bibliothek gegründet werden konnte. Mit den etwa noch vorhanden gewesenen Überresten an literarischen Schätzen scheinen dann die Araber bei der Eroberung Alexandriens nicht allzu glimpflich umgegangen zu sein, wenn auch die Nachrichten über den von ihnen bewiesenen Vandalismus ohne Zweifel stark übertrieben sind[1]. Im allgemeinen waren die Bekenner des Islams nämlich weit duldsamer als die Christen. Während letztere die Unterworfenen zur Bekehrung zwangen und keine Religion neben der christlichen anerkannten, war der Islam mehr darauf bedacht, zu herrschen. Die Christen behielten unter dieser Herrschaft ihre Glaubensfreiheit, ja selbst ihre Kirchen und Klöster. Der Islam ließ den unterworfenen Völkern mehr ihre Eigenart. Auch behielten die von ihm unterjochten Städte als Mittelpunkte des geistigen Lebens und eines größeren Wohlstandes ihre Bedeutung, während das Abendland durch die Germanen einer mehr ländlichen, naturalwirtschaftlichen Lebensweise anheimfiel. Die Kultur des Morgenlandes erlitt daher durch den Islam in ihrer Entwicklung keine solch gewaltsame Unterbrechung, wie sie das Abendland erfuhr. Die morgenländische Kultur des Mittelalters verdient auch die Bezeichnung einer arabischen weniger ihrer Eigenart wegen als dem Umstande, daß die Sprache der Araber die herrschende wurde. Mit dieser Erkenntnis fällt auch die Paradoxie, die darin liegen würde, wenn man einem bis dahin unbekannten Nomadenvolke alle Schöpfungen, welche der Orient im Mittelalter hervorbrachte, zuschreiben wollte.

Die Araber verstanden es vortrefflich, dasjenige, was die unterjochten Völker an Kulturelementen besaßen, zu sammeln und zu sichten. Nachdem sie in der kurzen Zeit vom Auftreten Moha-

[1] Genaueres über das wechselnde Schicksal der in Alexandrien aufbewahrten Bücherschätze siehe bei Ritschl, S. 188, Anm. [1].

meds bis zum Beginn des achten Jahrhunderts Syrien, Palästina, Ägypten, Persien, Nordafrika und Spanien erobert hatten, nahmen sie die Bildungselemente, die sie in diesen Ländern vorfanden, in sich auf, um sie später den in Unwissenheit versunkenen, abendländischen Völkern zu übermitteln. Den letzteren blieb es jedoch vorbehalten, auf diesen Grundlagen erfolgreich weiter zu bauen, was die Araber nur in bescheidenem Maße vermocht hatten. Es ist ein Verdienst der arabischen Literatur, die griechische Wissenschaft erhalten und sie durch das Dunkel des Mittelalters in die neuere Zeit hinüber gerettet zu haben.

Nach dem Untergange der alten Kultur wurden die Wissenschaften in Syrien und Persien in griechisch-christlichen und jüdischen Schulen gepflegt. Als die Araber diese Länder eroberten, fanden sie dort ein reiches geistiges Leben vor[1]). Wahrscheinlich ist aber bei dem ersten Anprall die ältere Literatur jener Länder zum Teil vernichtet worden, so daß man sich bei dem erwachenden Interesse für wissenschaftliche Dinge veranlaßt sah, auf die griechischen Originale zurückzugehen, woraus sich z. B. das später zu erwähnende Verhalten des Kalifen Al-Mamum erklärt[2]). Mit dem Übersetzen ging das Kommentieren Hand in Hand. So soll Ibn Sina (Avicenna, 980—1037) die Schriften des Aristoteles in 20 Bänden kommentiert haben. Seine Arbeit ging verloren, doch blieb sein Kommentar zu den aristotelischen Schriften über die Tiere in lateinischer Übersetzung (von Michael Scotus) erhalten.

Trotz aller Verfolgungen, denen die griechische Wissenschaft ausgesetzt gewesen, fanden sich also im Orient doch noch zahlreiche, wertvolle Überreste. Vor allem war es die zur Zeit der Eroberungskriege der Araber in Syrien und Persien verbreitete christliche Sekte der Nestorianer, welche sich um die Erhaltung dieser Überreste ein großes Verdienst erworben hatte. Seit dem Zeitalter Alexanders hatten sich viele Griechen in den bedeutenderen Städten Syriens und Persiens niedergelassen und ihr Wissen und ihre Sprache in Vorderasien verbreitet. Mit dem Griechentum berührte sich dort alsbald das jüdische Element. Beide wurden nach Beginn unserer Zeitrechnung durch die Ausbreitung des christlichen Glaubens noch enger verbunden. Der den Griechen eigentümliche Drang, überall, wo sie in fremden Ländern sich niederließen, als Lehrer ihrer neuen Landsleute aufzutreten, empfing da-

[1]) Wüstenfeld, Die Akademien der Araber und ihre Lehrer. Göttingen 1837.

[2]) S. 229.

durch eine neue Anregung. Die Schulen wurden christlich, behielten aber ihre Richtung auf die Pflege und Verbreitung der profanen Wissenschaft, getreu dem Geiste des Griechentums, bei

Als Sitz einer Akademie sei Edessa erwähnt. Dort entstand auch eine bedeutende Bibliothek. Vom 5. Jahrhundert etwa an wurden die Werke des Aristoteles, sowie griechische Schriften über Medizin, Mathematik, Astronomie usw. ins Syrische übertragen. Die Syrer sind als die unmittelbaren Schüler der Griechen zu betrachten. Eine nennenswerte Förderung der Wissenschaften scheint durch die Syrer aber nicht stattgefunden zu haben. Ihr Hauptverdienst besteht darin, daß sie die Kenntnisse und Anschauungen der Alten den Arabern übermittelten. Die in Mesopotamien entstandenen Nestorianerschulen blühten vom 5. bis ins 11. Jahrhundert. Und hier war es, wo die Elemente der antiken Wissenschaft, darunter auch diejenigen der Alchemie, den Arabern bekannt wurden, durch die sie dann nach Spanien und darauf zu den übrigen Ländern Europas gelangten. Durch die Beschäftigung mit chemischen Vorgängen sind die syrischen Gelehrten Mesopotamiens vielleicht auf die Erfindung des sogenannten griechischen Feuers gelangt, das seiner explosiven Wirkungen wegen seit dem Ende des 7. Jahrhunderts bei Belagerungen und in Seeschlachten benutzt wurde[1]).

Von den syrischen Handschriften, die sich mit chemischen Dingen beschäftigen, sind noch mehrere erhalten und durch Berthelot ihrem Inhalt nach bekannt geworden. Es gehört dahin eine Aufzählung[2]) der Metalle, der sieben Erden, der zwölf als Amulette dienenden Steine und einer Anzahl zum Färben des Glases dienender Mineralien. Als Amulette, denen man Zauberkräfte zuschrieb, galten z. B. der Amethyst (gegen Trunkenheit) und der Bernstein (gegen die Gelbsucht). Eine zweite syrische Handschrift[3]) kann als das älteste methodische Buch über Chemie betrachtet werden. Seine Abschnitte sind überschrieben: Die Bearbeitung des Kupfers, des Quecksilbers, des Bleies, des Eisens usw. Die syrische Alchemie besteht in der Hauptsache aus der Übersetzung griechischer Quellenschriften. In der erwähnten Aufzählung finden sich dem Namen jedes Metalls schon der Name eines bestimmten Planeten und einer bestimmten Gottheit beigefügt.

---

1) M. Berthelot, Die Chemie im Altertum und im Mittelalter. Herausgegeben von E. Kalliwoda und F. Strunz. Leipzig und Wien 1909.

2) Das Manuskript befindet sich im Britischen Museum.

3) Sie befindet sich in Cambridge. Siehe Berthelot a. a. O. S. 43.

Dogmatische Streitigkeiten riefen einen Gegensatz zwischen den syrischen, an der Lehre des Bischofs Nestorios[1]) festhaltenden Christen und der Hierarchie von Alexandrien und Byzanz hervor. Die Bedrückung, welche die in Syrien an den Schulen wirkenden Gelehrten infolgedessen erfuhren, veranlaßte diese Männer, daß sie sich in den persischen Christengemeinden, und zwar besonders in Mesopotamien, niederließen und dort im 5. Jahrhundert neue Pflanzstätten gründeten[2]). Dadurch wurden die Nestorianer die Vermittler zwischen dem Osten und dem Westen der alten Welt. Die in Indien entstandenen Wissenselemente fanden nämlich in Persien Eingang und wurden später den Arabern und durch sie dem Westen Europas übermittelt.

Als in Bagdad unter Almansur das Kalifat allen Glanz des Morgenlandes um sich verbreitete, wurden die Nestorianer, sowie zahlreiche griechische Gelehrte an den Hof gezogen und damit betraut, die in ihrem Besitz befindlichen Wissensschätze ins Arabische zu übertragen. Die mohammedanischen Machthaber scheint dabei zuerst mehr eine Art von Sammeleifer als ein Verständnis für die Bedeutung des Errungenen geleitet zu haben. Es wird berichtet, daß Harun al Raschid, der zur Zeit Karls des Großen lebende Kalif aus dem Hause des Omejaden, sich von den griechischen Kaisern alles ausgebeten habe, was ihr Land an philosophischen Werken besaß. Die Stellung, welche die Araber, diesen Werken gegenüber einnahmen, war zunächst blinde Achtung gegenüber der Autorität. Wie der Koran in der Religion und im Leben, so dienten die vorhandenen, insbesondere die griechischen Vorbilder ihnen als unbedingte Richtschnur für das Studium der Wissenschaften. Bei diesem Grundzug ihres Wesens war zwar ein wesentlicher Fortschritt nicht zu erwarten, doch hatte die von ihnen geübte Überschätzung das Gute im Gefolge, daß ihre Literatur in erster Linie der Erhaltung der gewonnenen Geistesschätze diente. Darauf und weniger auf dem Inhalt an eigenen Gedanken beruht die weltgeschichtliche Bedeutung der arabischen Literatur[3]).

Die Begierde Bücher zu sammeln war in den Ländern, in denen die arabische Kultur aufblühte, allgemein. So gab es in Bagdad über hundert Buchhandlungen, und viele Privatleute

[1]) Nestorius war in Syrien geboren. Er war ein Anhänger des Anastasius, dessen Lehre für Ketzerei erklärt wurde.

[2]) Unter diesen ist die Schule zu Nisibis zu nennen und die hippokratische Akademie von Dschondisabur, die im 6. Jahrhundert in hoher Blüte stand.

[3]) Meyer, Geschichte der Botanik, III. 107.

besaßen größere Bibliotheken. Es entstanden sogar gelehrte Gesellschaften, wie sie uns im Abendlande erst mit dem Wiederaufleben der Wissenschaften zu Beginn der neueren Zeit begegnen. Auch der Mittelstand war in den Städten bemüht, sich die Elemente der Bildung anzueignen, für deren Ausbreitung Schulen sorgten. Während in Rom zur Kaiserzeit etwa 30 öffentliche Bibliotheken vorhanden waren, gab es in Bagdad deren weit mehr. Die Lehrer, die an den mohammedanischen Schulen wirkten, wurden vom Staate besoldet. Legten sie ihrem Vortrage auch meist Bücher zugrunde, so gestaltete sich der Unterricht, der meist das theologische und das juristische Gebiet betraf, doch zu einem belehrenden Gespräch mit den Schülern. Er befand sich also auf einer hohen Stufe. Als weiteres Ausbildungsmittel waren ausgedehnte Studienreisen üblich. Solche Reisen gaben wieder den Anlaß zur Entstehung vortrefflicher geographischer Werke. Mit offenem Blicke schildern ihre Verfasser nicht nur die topographischen, sondern auch die klimatologischen Verhältnisse der besuchten Länder, sowie ihre Erzeugnisse. Ja, wir besitzen arabische Berichte, die uns über den Zustand von Mainz, Fulda und anderen deutschen Städten des Mittelalters wertvolle Aufschlüsse geben.

Auch das Interesse für mechanische Dinge war bei den Arabern nicht gering. So übersandte Harun al Raschid Karl dem Großen unter den zur Krönungsfeier bestimmten Geschenken eine Wasseruhr, die ein Zeigerwerk besaß und die Stunden dadurch ankündete, daß eine Metallkugel in ein aus Erz gefertigtes Becken fiel [1]).

Nicht minder groß war die Vorliebe, welche der Sohn und Nachfolger Haruns, der Kalif Abdallah al Mamum, für die Wissenschaft bekundete. Er errichtete in Bagdad eine Sternwarte und gründete in zahlreichen Städten seines Reiches Schulen und Bibliotheken. Hatte schon Harun eigene Übersetzer angestellt, so gründete sein Nachfolger ein förmliches Übersetzungsinstitut, zu welchem eine große Anzahl, der verschiedenen Sprachen kundiger, Gelehrten vereinigt wurden. In Syrien, Armenien und Ägypten wurden durch besondere Abgesandte Bücher aufgekauft. Vor allem übersetzte man sämtliche Werke des Aristoteles und des Galen. Auch Euklid, Ptolemäos und Hippokrates lernte man kennen. Selbst aus dem Persischen und dem Indischen wurde eifrig übersetzt. Nach einem erfolgreichen Kriege gegen den byzan-

1) Heller, Geschichte der Physik, 1882, I, 160.

tinischen Kaiser legte Al Mamum letzterem die Bedingung auf, ihm von sämtlichen, in den Bibliotheken des griechischen Reiches befindlichen Werken je ein Exemplar zu überlassen, damit diese Werke ins Arabische übersetzt würden. Darunter befand sich auch das oben erwähnte astronomische Hauptwerk des Ptolemäos, das in der Folge Almagest genannt wurde. Die Araber bewiesen schon damals, daß sie sich nicht bloß rezeptiv verhalten wollten. So wurde z. B. die Messung eines Breitengrades zur Bestimmung des Erdumfanges unter Al Mamum wieder vorgenommen und zwar, ohne daß man sich an das von den Griechen geschaffene Verfahren klammerte[1]. Ein wesentlicher Fortschritt dem Eratosthenes gegenüber lag bei diesem Unternehmen nämlich darin, daß die zugrunde gelegte Strecke nicht in Tagereisen ausgedrückt, sondern in der Richtung des Meridians mit Hilfe der Meßkette ausgemessen wurde. Man fand die Länge des Grades gleich 56 und bei einer zweiten Messung gleich 56²/₃ arabischen Meilen[2] oder gleich etwa 58000 Toisen.

Albiruni (Al Beruni) berichtet über das eingeschlagene Verfahren mit folgenden Worten[3]: „Man wähle einen Ort in einer ebenen Wüste und bestimme dessen Breite. Dann ziehe man die Mittagslinie und schreite längs derselben nach dem Polarstern. Miß den Weg in Ellen. Dann miß die Breite des zweiten Ortes. Ziehe die Breite des ersten davon ab und dividiere die Differenz durch den Abstand der Orte in Parasangen. Das Resultat, multipliziert mit 360, ergibt den Umfang der Erde in Parasangen“.

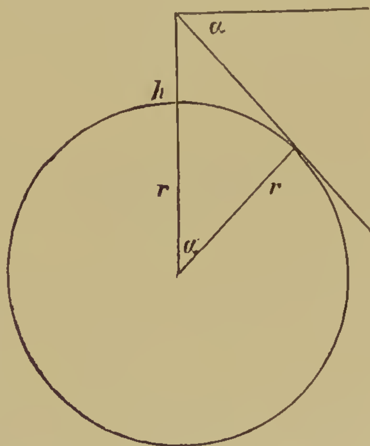


Abb. 39. Albirunis Bestimmung des Erdumfanges[3].

Von Interesse ist ein zweites Verfahren, das Albiruni zur Ermittlung des Erdumfanges anwandte. Es besteht darin, daß er einen hohen Berg besteigt, der sich in der Nähe des Meeres befindet und von hier aus durch Beobachtung des Sonnenunterganges den Winkel α, d. h. die Depression (Abb. 39) bestimmt. Albiruni zeigt dann weiter, wie man

[1] S. Günther, Studien zur Geschichte der mathematischen und physikalischen Geographie, 1877, S. 59.

[2] Peschel, Geschichte der Erdkunde. 1877. S. 122.

[3] E. Wiedemann, Bestimmungen des Erdumfanges von Al Beruni (Archiv für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik). I. Bd. (1908), S. 66.

aus diesem Winkel und der Höhe des Berges den Radius der Erde durch trigonometrische Rechnung ermitteln kann. Eine solche Bestimmung hat er wirklich ausgeführt. Er hat in Indien einen Berg, der 652 Ellen über das Meer emporragt, bestiegen und den Winkel gemessen, den die nach dem Horizont gerichtete Sehlinie mit der Horizontalen auf dem Gipfel bildet. Dieser Winkel wurde mit Hilfe des Astrolabs gefunden und belief sich auf 34′. Aus diesem Werte und der Höhe des Berges wurde der Radius und die Länge eines Grades berechnet. Die Berechnung ergab für den Umfang der Erde etwa 5600 Meilen[1]).

Durch denselben Al Mamum, welcher die oben erwähnte Gradmessung in der Nähe des roten Meeres anstellen ließ, wurde auch die Schiefe der Ekliptik mit großer Genauigkeit ermittelt. Der gefundene Wert belief sich auf 23° 35! Heute beträgt er 23° 27′. Die Änderung beläuft sich also in einem Jahrhundert auf etwa 48″.

Die Astronomie fand bei den Arabern eine zusammenhängende Bearbeitung durch den unter Al Mamum lebenden Alfragan oder Alfergani. Dem Werk, das Melanchton 1537 unter dem Titel „Alfragani rudimenta astronomiae" aus dem Nachlaß Regiomontans herausgab, lag zwar der Almagest zugrunde, es zeigt aber, daß sein Verfasser ein fleißiger Astronom war, welcher die Methoden seiner Vorgänger zu verbessern suchte. Auch beschrieb Alfragani die zu seiner Zeit gebrauchten astronomischen Instrumente. Er stellte seine Beobachtungen auf der von Al Mamum errichteten Sternwarte an und wurde dabei häufig von dem Kalifen unterstützt.

Alfragani wurde weit übertroffen durch den etwa ein Jahrhundert später lebenden Al Batani (Albategnius haben ihn seine Übersetzer genannt). Al Batani war prinzlichen Geblütes und hat sich nicht nur um die Astronomie, sondern auch um die Einführung der trigonometrischen Funktionen große Verdienste erworben. Seine Beobachtungen, die er etwa von 880—910 anstellte, wurden von den Arabern als die genauesten gepriesen. Albatani hat viele Angaben des Ptolemäos nachgeprüft und verbessert. Das von ihm verfaßte Werk „Über die Bewegung der Sterne" erschien in lateinischer Übersetzung und mit Zusätzen Regiomontans im Jahre 1537. Aus diesem Werke ist die Bezeichnung Sinus, für das Verhältnis der halben Sehne zum Radius, in die mathematische Literatur aller Völker übergegangen. Die mit der Anwendung der

[1]) E. Wiedemann a. a. O. S. 69.

ganzen Sehnen verknüpfte rechnerische Unbequemlichkeit, welche der Almagest aufwies, kam damit in Fortfall. Die trigonometrischen Sätze nehmen ferner bei Albatani mehr den Charakter für die Rechnung bestimmter Formeln an. Aus $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = D$ wird $\sin \alpha = \frac{D}{\sqrt{1 + D^2}}$ berechnet und α dann in den Sinustafeln aufgefunden. Auch der Bruch $\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$ wird einer Rechnung zugrunde gelegt. Bedeutet nämlich α die Höhe der Sonne über dem Horizont und ist h die Höhe eines Schattenmessers, l die Länge des Schattens, dann ist $\frac{l}{h} = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \operatorname{ctg} \alpha$; oder $l = h \operatorname{cotg} \alpha$.

Albatani berechnete danach die Länge von l bei einer bestimmten Höhe von h (= 12) für $\alpha = 1^0, 2^0, 3^0$ usw. Er erhielt auf diese Weise eine kleine Tabelle für die Kotangenten der ganzen Winkel.

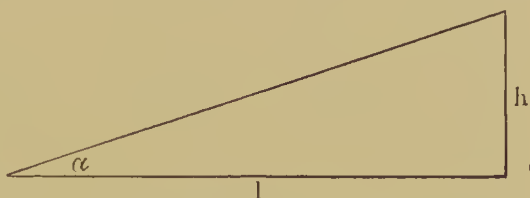


Abb. 40. Trigonometrische Berechnungen.

Die Trigonometrie erscheint als eines der Gebiete, das die Araber nicht nur wegen ihrer Beziehungen zur Astronomie, sondern auch seiner selbst wegen mit Vorliebe angebaut haben. Auf die Tangensfunktion mußte schon Albatani kommen, als er den Stab h horizontal in der Wand A B befestigte und das Verhältnis der Schattenlänge l zu der Länge des Stabes h zur Bestimmung des Winkels α benutzte. Daß sich die Tangensfunktion zur Berechnung von Dreiecken vorzüglich eignet, wurde bald nach Albatani erkannt [1]).

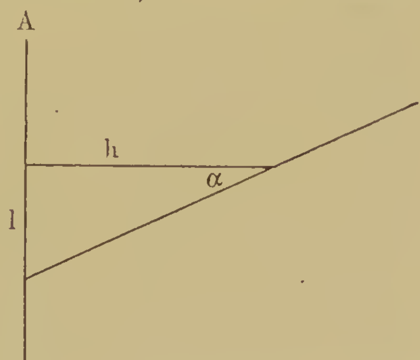


Abb. 41. Einführung der Tangensfunktion.

Ihren Höhepunkt erreichte die Trigonometrie der Araber um 1250 in dem Werke „Über die Figur der Schneidenden“. Es wird darin das rechtwinklige und, ausgehend vom Sinussatz, das schiefwinklige Dreieck behandelt. Auch die Trigonometrie des schiefwinkligen sphärischen Dreiecks wurde in dem genannten Werke in den Grund-

[1]) Abul Wafa (940—998). Siehe von Braunmühl, Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie. S. 55.

zügen entwickelt. Der weitere Ausbau der Trigonometrie, vor allem die Formulierung des so wichtigen Cosinussatzes erfolgte erst einige hundert Jahre später, als im Abendlande die Wissenschaften wieder auflebten, durch Regiomontan.

Wir haben an früherer Stelle den hohen Grad von Kunstfertigkeit erwähnt, den die alexandrinischen Mechaniker bei der Herstellung astronomischer Meßinstrumente, insbesondere der Astrolabien, bewiesen. In dieser Kunst war die praktische Astronomie der Araber derjenigen der Griechen mindestens ebenbürtig, wenn nicht gar überlegen[1]). Neben den ringförmigen Astrolabien benutzten die Araber als Meßwerkzeuge auch Quadranten und Halbkreise, ferner parallaktische Lineale und Instrumente, welche die trigonometrischen Funktionen, wie den Sinus und den Sinus versus, anzeigten[2]). Die Einführung dieser Funktionen in die abendländische Mathematik ist an den Namen Al Batanis (Albategnius) geknüpft, der in den Jahren 882—900 seine Beobachtungen anstellte und Tabellen entwarf[3]). Auf Grund der astronomischen Beobachtungen der arabischen Sternwarten in Damaskus und Bagdad wurde eine Revision der Ptolemäischen Tafeln vorgenommen[4]). Auch durch die Verfertigung von Himmelsgloben bewiesen die Araber ihr Geschick für astro-nomische Dinge.

Die Blüte der arabischen Wissenschaft war keine kurze, wie man hin und wieder behauptet hat, denn ein Jahrhundert später begegnen wir wieder einem hervorragenden Astronomen in Ibn Junis (gestorben 1008), der in Kairo auf Befehl des Kalifen Al Hâkim wertvolle astronomische Tafeln für die Bewegung der Sonne, des Mondes und der Planeten anfertigte. Auch in Kairo stand den Astronomen eine mit großer Freigebigkeit eingerichtete Sternwarte zu Gebote. Auf Grund der Sternverzeichnisse verstand man es, vortreffliche Himmelsgloben aus Silber oder Kupfer anzufertigen, die zum Teil erhalten geblieben sind. Eine weitgehende Genauigkeit der Winkelmessung suchte man dadurch zu erreichen, daß man den mit der Gradeinteilung versehenen Instrumenten gewaltige Dimensionen gab. So soll ein in Bagdad aufgestellter Sextant, mit dem man im Jahre 992 die Schiefe der Ekliptik

1) Repsold, Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge. Leipzig 1908. S. 11.

2) Sédillot, Mémoire sur les instrumens astronomiques des Arabes. Paris 1841.

3) C. Brockelmann, Geschichte der arabischen Literatur 1898/1902. I. 222.

4) Brockelmann, I. 220.

maß, einen Radius von 58 Fuß gehabt und einzelne Sekunden angezeigt haben. Auch das Verfahren, zum Messen der Kulmination bestimmte Instrumente fest im Meridian aufzustellen, indem man Mauerquadranten errichtete, treffen wir schon bei den Arabern. Sogar ein Instrument mit einem Horizontalkreis, über dem zwei Quadranten drehbar angebracht waren, findet man bei den Arabern in Gebrauch. Dieses Instrument, dem später Tychos Azimutalquadrant im wesentlichen entsprach, ermöglichte es, von zwei Gestirnen gleichzeitig Azimut und Höhe zu bestimmen. Jene „drehenden Quadranten" der Araber und Tychos Instrument sind grundlegend für die Konstruktion des heutigen Theodoliten gewesen.

Die Astronomie, die immer mehr in Astrologie ausartete, die Mathematik und die auf geometrischer Grundlage beruhende Optik, vor allem aber die Chemie in ihrem ersten, von mystischen Vorstellungen durchwebten Gewande, waren die Gebiete, denen sich die Araber mit Vorliebe zuwandten. Auf diesen haben sie, zumal was die, wenn auch nicht ihrem Ursprunge, so doch ihrer ersten Entwicklung nach vorwiegend arabische Wissenschaft der Chemie betrifft, anerkennenswerte Leistungen aufzuweisen.

Eine Anregung zur Beschäftigung mit der Mathematik empfingen die Araber nicht nur durch die griechischen Schriften, die von einem vorzugsweise für die Geometrie veranlagten Volke herrührten, sondern in nicht geringerem Maße von den Indern, die sich durch ihre rechnerische Begabung auszeichneten. Von den letzteren erhielten sie vor allem das auf dem Stellenwert beruhende Ziffernsystem, das wir noch heute als das arabische bezeichnen, weil die Araber es den abendländischen Völkern übermittelt haben. Auch die Algebra ist indischen Ursprungs. Sie erfuhr indes durch die Araber eine wesentliche Fortbildung.

Von den griechischen Mathematikern ist Euklid für die Entwicklung der Mathematik bei den Arabern von großem Einfluß gewesen. Zur Weiterentwicklung der Arithmetik wurden sie besonders durch die Übernahme des indischen Ziffernsystems angeregt. Die indischen Zahlzeichen verbreiteten sich übrigens schon sehr früh von Alexandrien aus nach Rom[1]).

Bevor wir auf die Weiterentwicklung der Mathematik durch die Araber näher eingehen, sei noch erwähnt, daß gegen den Ausgang des Mittelalters das westliche Europa, wahrscheinlich gleichfalls durch Vermittlung dieses Volkes, in den Besitz der in Ost-

[1]) C. Brockelmann, Geschichte der arabischen Literatur. Bd. I (1898) S. 215.

asien erfundenen Bussole und sehr wahrscheinlich auch des Schießpulvers gelangte. Eine Nachricht über die Bussole begegnet uns in einer chinesischen Schrift aus dem 2. Jahrhundert n. Chr. Dort wird der Magnet als ein Stein bezeichnet, mit dem man der Nadel Richtung gebe[1]. Ferner ist nachgewiesen, daß die Chinesen schon im 12. Jahrhundert n. Chr. mit der Erscheinung der magnetischen Deklination bekannt waren. Die betreffende Stelle der chineschen Literatur lautet[2]: „Wenn man die Spitze einer Nadel mit dem Magnetstein bestreicht, so zeigt sie nach Süden, jedoch nicht genau, sondern etwas nach Osten. Die Abweichung beträgt etwa $^1/_{24}$ des Kreisumfanges (also etwa 15⁰)."

Daß die Bussole durch den Schiffer Flavio Gioja aus Amalfi erfunden oder in Europa bekannt geworden sei, hat sich als eine der vielen, in der Geschichte der Wissenschaften vorkommenden Legenden erwiesen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß man mit dem Gebrauche der Magnetnadel in Europa lange vor dem im 14. Jahrhundert lebenden Gioja bekannt war. So erwähnt ein provenzalisches, im 12. Jahrhundert entstandenes Buch[3], daß der Schiffer, wenn er weder Mond noch Sterne sehen könne, sich nach der Magnetnadel richte. Auch in einer um 1180 entstandenen Schrift[4] heißt es, die Eisennadel erlange durch die Berührung mit dem Magneten die Fähigkeit, nach Norden zu zeigen, was für den Schiffer wichtig sei. Gioja gebührt vielleicht das

[1] Klaproth, Sur l'invention de la Boussole. 1834.

Neuere Untersuchungen verlegen die chinesischen Angaben über den Kompaß bis ins 4. Jahrhundert v. Chr. zurück. Siehe E. Gerland, Der Kompaß bei den Arabern und im christlichen Mittelalter. Die Chinesen benutzten den Kompaß zuerst bei Landreisen; auf Seereisen wurde er wohl nicht vor dem 3. Jahrhundert n. Chr. gebraucht.

[2] Heller, Geschichte der Physik, I. 210.

[3] La Bible von Guyot de Provins.

[4] Von Alexander Neckam. Die betreffende Stelle lautet: „Nautae enim mare legentes, cum beneficium claritatis solis in tempore nubilo non sentiunt, aut etiam cum caligne nocturnarum tenebrarum mundus obvolvitur, et ignorant in quem mundi cardinem prova tendat, acum super magnetem ponunt, quae circulariter circumvolvitur usque dum, ejus motu cessante, cuspis ipsius septentrionalem plagam respiciat." Siehe Hellmann, Die Anfänge der magnetischen Beobachtungen. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Bd. 32, Berlin 1907. In der Übersetzung lautet die Stelle: „Wenn die Seeleute bei nebligem Wetter die Sonne nicht sehen oder bei Nacht nicht wissen, nach welcher Himmelsrichtung das Schiff sich bewegt, so bringen sie eine Nadel über einem Magneten an. Diese dreht sich solange, bis ihre Spitze, nachdem die Nadel zur Ruhe gekommen ist, nach Norden zeigt.

Verdienst, daß er die Nadel mit der Windrose verbunden und damit für den Gebrauch geeigneter gemacht hat[1]). Ob die Bussole in Europa selbständig erfunden ist oder durch die Vermittlung der Araber von Ostasien nach dort gelangte, ließ sich bisher nicht mit Sicherheit nachweisen. Letztere Annahme ist aber bei dem regen Handelsverkehr, den die Länder des Islams mit Indien und China unterhielten, die wahrscheinlichere[2]).

Interessant ist auch, wie sich die Anbringung der Magnetnadel allmählich immer praktischer gestaltete. Zuerst ließ man die Nadel schwimmen. So heißt es an einer Stelle[3]) in dem 1232 verfaßten „Buche des Schatzes der Kaufleute in Kenntnis der Steine“: „Wenn die Nacht so dunkel ist, daß die Kapitäne keinen Stern wahrnehmen können, um sich zu orientieren, so füllen sie ein Gefäß mit Wasser und stellen dieses im Innern des Schiffes, gegen den Wind geschützt, auf; dann nehmen sie eine Nadel und stecken sie in einen Strohhalm, derart, daß beide ein Kreuz bilden. Dieses werfen sie auf das in dem erwähnten Gefäß befindliche Wasser und lassen es auf dessen Oberfläche schwimmen. Hierauf nehmen sie einen Magneten, nähern ihn der Wasseroberfläche und geben ihrer Hand eine Drehung. Dabei dreht sich die Nadel auf der Wasseroberfläche; dann ziehen sie ihre Hände plötzlich und rasch zurück, worauf die Nadel nach zwei Punkten, nämlich Nord und Süd, zeigt.“

Die nächste Verbesserung bestand darin, daß man den Magneten auf einer Nadel schweben ließ. Die Verbindung des Magneten mit der Windrose, die man auf solche Weise beweglich machte, erfolgte wahrscheinlich im 14. Jahrhundert. Seine Vollendung erhielt der Kompaß, als ihn Cardanus (im 16. Jahrhundert) mit der nach ihm benannten Aufhängung versah[4]).

Wie mit der Bussole verhält es sich wahrscheinlich auch mit dem Schießpulver, das in China weit früher als in Europa bekannt war. Die älteste Nachricht, welche die europäische Literatur

---

[1]) A. Breusing, Flavio Gioja und der Schiffskompaß. In d. Zeitschr d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin. Bd. IV. 1869.

[2]) Siehe E. Wiedemann, Zur Geschichte des Kompasses bei den Arabern. Verhandl. d. Deutschen physik. Gesellschaft zu Berlin 1907. Bd. 9. S. 764—773. Wiedemann gibt darin unter anderem eine Stelle aus dem Jahre 1232 an, aus der hervorgeht, daß man dem Eisen durch Reiben mit dem Magnetstein die Eigenschaft gab, sich in die Nord-Südrichtung einzustellen.

[3]) Nach der Übersetzung von E. Wiedemann.

[4]) Von den Verbesserungen, welche der Kompaß in der neuesten Zeit erfuhr, wird an späterer Stelle die Rede sein.

über das Pulver aufweist, enthält wohl das Manuskript des Marcus Graecus[1]), der gegen Ende des 8. Jahrhunderts lebte. Graecus gibt an, man solle Schwefel, Holzkohle und Salpeter zusammenreiben und mit dieser Mischung lange Röhren füllen. Zünde man die Mischung dann an, so flögen die Röhren in die Luft oder sie würden mit donnerähnlichem Knall zerplatzen.

Zur Beschäftigung mit der Mathematik gelangten die Araber dadurch, daß ihnen die Schriften der Griechen und der Inder bekannt wurden. Ptolemäos und Euklid, Apollonios, Heron und Diophant wurden in zahlreichen arabischen Übersetzungen verbreitet[2]). Welche Rolle hierbei christlich-griechische Schulen spielten, die unter dem Einfluß der Sekte der Nestorianer in Syrien entstanden waren, haben wir schon erwähnt. Im 8. Jahrhundert gelangte ein Auszug aus dem Werke des Inders Bramagupta nach Bagdad. Dieser Auszug wurde um 820 durch Mohamed ibn Musa Alchwarizmi einer Umarbeitung unterzogen.

Ibn Musa (ben Musa), der bekannteste arabische Mathematiker, lebte unter Al-Mamum. Er war nicht nur an der Herausgabe indischer Werke, sondern auch an einer Neubearbeitung der Ptolemäischen Tafeln, sowie an der erwähnten arabischen Gradmessung beteiligt[3]). Ferner schrieb Ibn Musa über die Rechenkunst und die Algebra. Ein Übersetzer des Buches über die Rechenkunst hat aus Alchwarizmi den Namen Algorithmus gemacht, der noch jetzt für jedes zur Regel gewordene Rechnungsverfahren benutzt wird. Den Ziffern wird von Ibn Musa nach indischem Vorbild ein Stellungswert beigelegt. Übersteigt beim Addieren die Summe der Ziffern 9, so sollen die Zehner der folgenden Stelle zugerechnet und an der ursprünglichen Stelle nur das geschrieben werden, was unter 10 übrig ist. „Bleibt nichts übrig“, fährt Ibn Musa fort, „so setze den Kreis (die Null), damit die Stelle nicht leer sei. Der Kreis muß sie einnehmen, damit nicht durch das Leersein die Zahl der Stellen vermindert und die zweite für die erste gehalten wird[4]).“ Ibn Musas Werk über die „Algebra“ ist das erste, welches diese Bezeichnung erhalten hat.

---

1) Das Manuskript befindet sich in Paris.

2) So pflegte Ibn al Haitam (Alhazen) in jedem Jahre den Euklid und den Almagest abzuschreiben, um von dem Erlös zu leben. Siehe Wiedemann, Ibn al Haitam, ein arabischer Gelehrter. Leipzig 1806. S. 152.

3) Die Übersetzung wurde 1857 in der Bibliothek zu Cambridge entdeckt und bildet das I. Heft der von dem Fürsten Boncampagni herausgegebenen Trattati d'aritmetica.

4) Trattati d'aritmetica I. 8.

Das Wort Algebra bedeutet soviel wie Ergänzung, Wiederherstellung und bezieht sich auf die Auflösung der Gleichungen. Das Verfahren der Ergänzung (Algebr) bestand darin, daß man, um die negativen Glieder aus einer Gleichung zu entfernen, auf beiden Seiten die gleichen, positiven Werte hinzufügte. Das Buch war weniger für den wissenschaftlichen als für den praktischen Gebrauch bestimmt. Dies geht auch aus folgenden Worten hervor, mit welchen Ben Musa sein Buch einleitet: „Die Liebe zu den Wissenschaften, durch welche Gott den Al-Mamum, den Beherrscher der Gläubigen, ausgezeichnet hat, und seine Freundlichkeit gegen die Gelehrten haben mich ermuntert, ein kurzes Werk über Rechnungen durch Ergänzung und Reduktion zu schreiben. Hierbei beschränkte ich mich auf das Leichteste und das, was die Menschen am meitsen bei Teilungen, Erbschaften, Handelsgeschäften, Ausmessung von Ländereien usw. gebrauchen."

Alchwarizmi unterscheidet sechs Arten von Gleichungen, die in heutiger Schreibweise folgendermaßen lauten würden:

$$bx = c$$
$$ax^2 = c$$
$$x^2 + bx = c$$
$$x^2 = bx + c$$
$$x^2 + c = bx$$
$$ax^2 = bx$$

Für die Gleichung $x^2 + c = bx$ gibt er die Lösung $x = \frac{b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - c}$. Er erwähnt, daß die Aufgabe für den Fall, daß $c > \left(\frac{b}{2}\right)^2$ unmöglich sei. Auch die Regel de tri, und zwar nach indischen Mustern, ist in dem Werke behandelt, das nicht nur für die arabische, sondern auch für die Entwicklung der abendländischen Mathematik von großer Wichtigkeit gewesen ist.

Nach der Eroberung Spaniens errichteten die Araber das Kalifat zu Cordova, das für den westlichen Teil ihres Reiches eine ähnliche Bedeutung erhielt, wie sie Bagdad für den Osten besaß. Handel und Gewerbe gelangten zu hoher Blüte. Prächtige Bauten entstanden. Neue Pflanzen, vor allem die Dattelpalme, wurden eingeführt. In Spanien war es auch, wo die Berührung der abendländischen Christenheit mit der Wissenschaft des Islams vorzugsweise stattfand. Von hier erfolgte die Wiederbelebung der gelehrten Studien in den christlichen Ländern, die im 9. und 10. Jahrhundert die griechischen Schriftsteller in arabischer Über-

setzung und kommentiert von arabischen Gelehrten, wie Avicenna und Averroes, kennen lernten.

Avicenna (Ibn Sina lautet sein arabischer Name) lebte von 980—1037. Er schließt sich an Alfarabi an, welcher die platonische und die aristotelische Philosophie zu übermitteln gesucht und der Astrologie diejenige Form gegeben hat, die sie durch das ganze Mittelalter behielt[1]). Avicenna befaßte sich besonders mit der Medizin. Was seine Zeit auf diesen Gebieten an Kenntnissen besaß, vereinigte er in einem großen Werk, dem Kanon[2]). Avicenna soll auch sämtliche Schriften des Aristoteles in einem Werk von zwanzig Bänden erläutert haben. Erhalten ist indessen nur ein Kommentar zu den aristotelischen Schriften über die Tiere.

Die Bedeutung des Averroes (Ibn Roschd, 1120—1198) besteht gleichfalls darin, daß er die Werke des Aristoteles dem arabischen und christlichen Mittelalter zugänglich machte. Seine Verehrung für diesen Philosophen war so groß, daß er behauptete, die Welt sei erst durch die Geburt des Aristoteles vollständig geworden. Trotzdem kann man Averroes eine gewisse Selbstständigkeit bei seinem Philosophieren nicht absprechen[3]). Seine ganze Naturauffassung trägt einen, man könnte fast sagen, modernen Grundzug. Gott und die Materie sind danach ewig. Eine Schöpfung aus dem Nichts, die beliebte Vorstellung orientalisch-christlicher Mystik, ist undenkbar. Das Geistige ist dasjenige, was die Materie bewegt und ihre Form bestimmt. Auch die menschliche Seele ist nichts anderes als die formbestimmende Kraft unseres Seins. Daß die Kirche solche Lehren als ketzerisch verwarf, läßt sich wohl denken. Es ist sogar wahrscheinlich, daß man die Naturanschauung des Averroes, weil sie mit den physikalischen Lehren des Aristoteles verknüpft wurde, durch das zeitweilige Verbot der physikalischen Schriften dieses Philosophen zu bekämpfen suchte.

Für die hohe Blüte der Wissenschaft unter der westarabischen Herrschaft spricht auch, daß in Cordova um das Jahr 900 eine hohe Schule mit einer Bibliothek von mehreren hunderttausend

---

[1]) Alfarabi verfaßte eine enzyklopädische Darstellung der Wissenschaften, die arabisch und in lateinischen Übersetzungen erhalten ist (De scientiis). Näheres enthält die Abhandlung von E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften XI. Erlangen 1907. (Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen, 39. Bd).

[2]) Dieser erschien im Druck zuerst in Venedig im Jahre 1493.

[3]) E. Renan, Averroes et l'Averroisme. Paris 1852.

Bänden entstand. Ähnliches wurde in anderen, unter der maurischen Herrschaft durch Handel und Wohlstand emporblühenden Plätzen, wie in Granada, Toledo und Salamanka, geschaffen. Aus allen Teilen des übrigen Westeuropas zogen Wißbegierige an diese Stätten, denen man daheim nichts an die Seite zu stellen hatte. Bekannt ist, daß Gerbert, der spätere Papst Sylvester II., auf einer arabischen Hochschule Philosophie und Mathematik studierte, und daß auch, nachdem die Araber in Süditalien Fuß gefaßt, der hochsinnige Staufenkaiser Friedrich II. arabische Weisheit wohl zu schätzen wußte. Auf seine Anregung wurde der Almagest nach einer arabischen Handschrift ins Lateinische übersetzt. Den Naturwissenschaften wandte dieser Kaiser, gleichfalls auf arabischen Quellen, jedoch auch auf eigenen Beobachtungen fußend, ein großes Interesse zu. So entstand sein Werk über die Jagd mit Vögeln, in dem er an manchen Stellen den zoologischen Betrachtungen eine anatomische Begründung zu geben wußte [1]). Das Buch enthält eine gute Beschreibung des Vogelskeletts, sowie eine Anatomie der Eingeweide. Es handelt von den mechanischen Bedingungen des Fliegens, den Wanderungen der Vögel usw. Die Anleitung zur anatomischen Untersuchung des Vogels verdankte der Kaiser wohl den Gelehrten der medizinischen Schule zu Salerno. Friedrich II. war auch der erste Herrscher, welcher eine Zerlegung menschlicher Leichen gestattete, weil er von der Überzeugung durchdrungen war, daß nur so eine Förderung der Heilkunde zu erwarten sei.

Wie schon erwähnt, wurde neben der Mathematik und der Astronomie besonders die auf geometrischer Grundlage beruhende Optik von den Arabern gepflegt. Das auf diesem Gebiete teils gesammelte, teils erworbene Wissen ist uns am vollständigsten in dem Werke des im 11. Jahrhundert in Spanien lebenden Physikers Alhazen (Ibn al Haitam) übermittelt worden [2]). Dieses Werk stand in hohem Ansehen und verdient es, daß wir uns mit seinem Inhalt etwas ein-

---

[1]) Reliqua librorum Friderici II. imperatoris de arte venandi cum avibus. Ed. J. G. Schneider. T. I. II. Lipsiae 1788, 89. Siehe auch Carus, Geschichte der Zoologie. München 1872. S. 206 und Burkhardt, Geschichte der Zoologie. Leipzig 1907. S. 45.

[2]) Opticae thesaurus Alhazeni Arabis libri VII, nunc primum editi a Frederico Risnero. Basileae 1572. Vergleiche auch Schnaase, Die Optik Alhazens; Programm des Friedrichs-Gymnasiums zu Stargard. 1889. Alhazens vollständiger Name lautet Abû Alî Muhammed ben el Hasan ibn el Haitam el Basri. Eine arabische, mit Abbildungen versehene Handschrift seines Werkes wird in Leyden aufbewahrt. Risners Übersetzung ist eine gekürzte, indes getreue Wiedergabe des Originals.

gehender beschäftigen, um uns einen Begriff von den damaligen Kenntnissen zu verschaffen. Zunächst handelt Alhazen von dem Organ des Sehens. Zwar hatten sich schon die Alexandriner mit dem Bau des Auges befaßt. Die Beschreibung, die uns Alhazen liefert, ist jedoch die erste, welche den Namen einer anatomischen verdient. Die noch heute gebräuchlichen Namen für die Hauptteile des Auges, wie Humor vitreus (Glaskörper), Cornea (Hornhaut), Retina (Netzhaut) usw. gehen auf Alhazens Optik zurück. Das Verhältnis von Linse und Netzhaut in seiner Bedeutung für das Zustandekommen des Bildes zu erkennen, blieb allerdings späteren Untersuchungen vorbehalten. Wie aus der beistehenden,

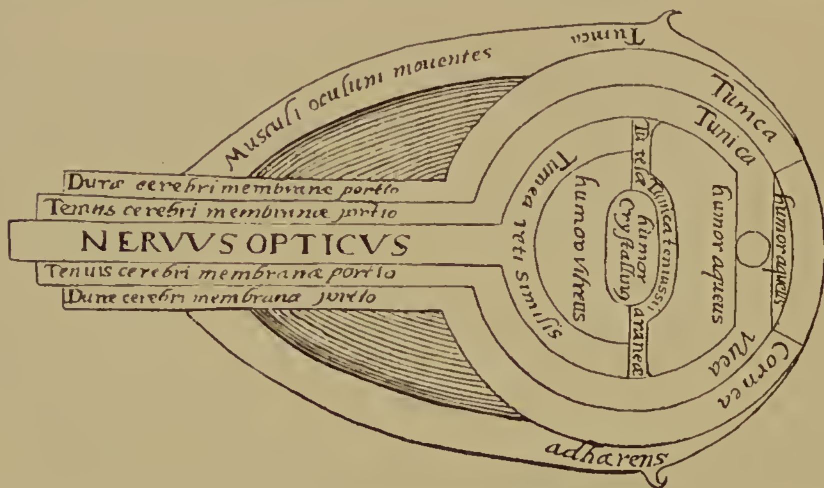


Abb. 42. Alhazens Darstellung des Auges.

der Ausgabe Risners entnommenen Abbildung ersichtlich ist, verlegte Alhazen die Linse in die Mitte des Auges. Dorthin sollten alle, die vordere Wölbung des Auges senkrecht treffenden Strahlen gelangen. Nur diese Strahlen vermitteln nach seiner Annahme das deutliche Sehen und werden von der Linse empfunden. Die Gesamtheit dieser Strahlen bildet die Sehpyramide. Ihre Spitze liegt also im Mittelpunkte des Auges, während ihre Grundfläche die Oberfläche des gesehenen Gegenstandes ist. In diesem Teile seiner Darstellung stimmt Alhazen mit Euklid überein.

Das Licht braucht nach Alhazens Annahme zu seiner Fortpflanzung Zeit. Auch den optischen Täuschungen[1]) widmet er eine Betrachtung.

In der Behandlung der Reflexion und der Brechung, denen das Werk der Hauptsache nach gewidmet ist, zeigt sich ein Fort-

[1]) Im 3. Buche seiner Optik.

schritt den Griechen gegenüber[1]). Nicht nur ebene, sondern auch sphärische, zylindrische und konische Konkav- und Konvexspiegel werden zur Erzeugung von Bildern herangezogen und Lage und Größe der letzteren bestimmt. Für sämtliche untersuchten Spiegel fand Alhazen das Reflexionsgesetz bestätigt. Er kennt die Lage des Brennpunktes, den Euklid noch in den Krümmungsmittelpunkt verlegt hatte. Auch mit der Tatsache, daß nicht alle Strahlen in ein- und demselben Punkte vereinigt werden, zeigt sich Alhazen vertraut. Seine Messungen an der Brennkugel führten zu dem Ergebnis, daß bei jeder glatten, durchsichtigen Kugel aus Glas oder einer ähnlichen Masse, die Strahlen in einer Entfernung von der Kugel vereinigt werden, die etwa ein Viertel des Durchmessers beträgt. Selbst die Eigenschaft des Rotationsparaboloids, die vom Brennpunkte ausgehenden Strahlen parallel zu reflektieren, wird erörtert. In Alhazens Optik[2]) wird ferner auf die Erscheinung hingewiesen, daß ein aus durchsichtigem Material verfertigtes Kugelsegment die Gegenstände größer erscheinen läßt.

Hatte Ptolemäos gefunden, daß jedem Einfallswinkel ein bestimmter Brechungswinkel entspricht, so fügte Alhazen die Erkenntnis hinzu, daß der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslot in einer Ebene liegen. Die ältere Annahme, daß das Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel ein konstantes sei, erkennt Alhazen nur für kleine Werte als richtig. Bei seinen Untersuchungen über die Brechung des Lichtes bediente er sich eines Apparates, welcher dem von Euklid benutzten entspricht. Er nahm eine kreisförmige Scheibe aus Kupfer, die einen Rand mit Gradeinteilung besaß (s. Abb. 43). In dem Rande befand sich eine Öffnung c. Eine zweite Öffnung (d) war in einer nahe der Mitte der Scheibe gelegenen Platte angebracht. Dieser Apparat wurde bis zum Mittelpunkt in die Flüssigkeit getaucht. Fiel dann ein Lichtstrahl durch die beiden Öffnungen c und d, so traf er die Flüssigkeit im Mittelpunkt der Scheibe, auf deren Rand der Einfallswinkel und der Brechungswinkel abgelesen werden konnten.

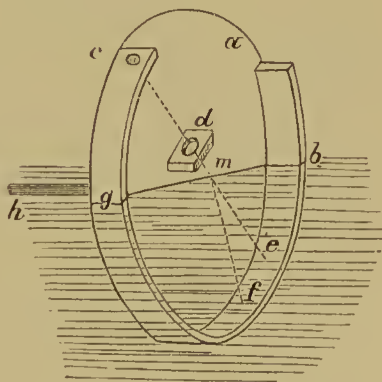


Abb. 43. Alhazen untersucht die Brechung.

[1]) Siehe auch Schnaases „Alhazen" in den Schriften der Danziger Gesellschaft. N. Folge. Bd. VII. S. 140.

[2]) Optic. Thes. VII. 48.

Aus der Spiegelung und der Brechung erklärt Alhazen einige wichtige astronomische Erscheinungen. So wird die Dämmerung auf die Reflexion des Lichtes zurückgeführt. Die Tatsache, daß die Dämmerung nur so lange dauert, bis die Sonne sich 19° unter dem Horizont befindet, gibt Alhazen ein Mittel an die Hand, die Höhe unserer Atmosphäre zu bestimmen[1]). Es sei M, so führt er aus, die äußerste Luftschicht, welche den Strahl SM noch zu reflektieren vermag, und A der Ort des Beobachters. Der Winkel HMS, den der Sonnenstrahl SM mit dem Horizont bildet, beträgt dann 19°. Nach dem Reflexionsgesetz ist nur $\sphericalangle$ BMC = $\sphericalangle$ AMC. Da ferner die Summe der drei Winkel bei M = 180° ist, so ergibt sich für den Winkel AMC der Wert $\frac{180^0 - 19^0}{2} = 80^0\ 30'$.

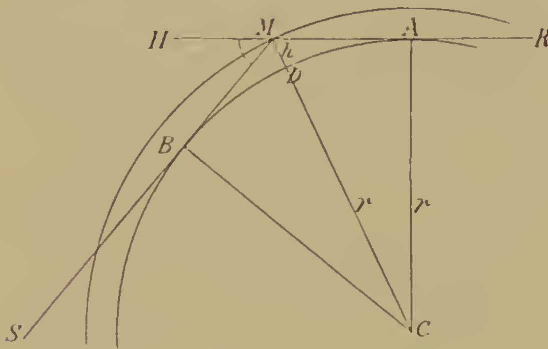


Abb. 44. Alhazen bestimmt die Höhe der Atmosphäre.

Da die Seite AC = r bekannt ist, so ist das rechtwinklige Dreieck ACM bestimmt. Die gesuchte Höhe ergibt sich, wenn man aus den gegebenen Stücken die Hypotenuse MC berechnet (MC = r : sin 80° 30′) und davon r abzieht. MD = h ist also = (r : sin 80° 30′) — r. Diese Größe beträgt nach der Berechnung Alhazens 52000 Schritt (5—6 Meilen), während wir dafür 10 Meilen annehmen[2]).

Gegen diese Berechnung läßt sich ein Einwand erheben, den Alhazen selbst schon hätte machen können. Er wußte nämlich, daß ein Lichtstrahl, der schräg in die Atmosphäre einfällt, keine gerade Linie beschreibt, sondern, da er auf immer dichtere, das Licht in wachsendem Maße brechende Schichten trifft, einen krummen Weg nimmt. Diese, mit dem Namen der astronomischen Refraktion bezeichnete Erscheinung war schon dem Ptolemäos bekannt. Man führte sie im Altertum jedoch nicht auf die zunehmende Dichte der Atmosphäre, sondern auf die in ihr enthaltenen Dünste zurück. Das Funkeln der Sterne rührt nach Alhazen von raschen Änderungen in der Atmosphäre her, während die Erscheinung, daß Mond und Sonne in der Nähe des Horizontes abgeplattet erscheinen, aus der astronomischen Refraktion erklärt wird.

---

1) In einem Anhange zum Optic. Thesaur.

2) Alhazen nahm den Erdumfang gleich 4800 (statt 5400) Meilen an.

Außer der „Optik" existiert auch eine kleinere Abhandlung Alhazens, in welcher er von der Durchsichtigkeit und über die Natur des Lichtes handelt. Sie beginnt mit folgenden Worten[1]): „Die Behandlung des „Was" des Lichtes gehört zu den Naturwissenschaften. Aber die Behandlung des „Wie", der Strahlung des Lichtes, bedarf der mathematischen Wissenschaften wegen der Linien, auf welchen sich das Licht ausbreitet. Ebenso verhält es sich mit den durchsichtigen Körpern, in welche das Licht eindringt. Die Behandlung des „Was" ihrer Durchsichtigkeit gehört zu den Naturwissenschaften und die Behandlung des „Wie", der Ausbreitung des Lichtes in ihnen, zu den mathematischen Wissenschaften". Von Interesse sind auch die in dieser Schrift entwickelten Ansichten über den Grad der Durchsichtigkeit, für welche es nach Alhazen keine Grenze gibt.

Alhazen ist wohl der erste Physiker, der auf die vergrößernde Kraft gläserner Kugelsegmente aufmerksam macht[2]). Es ist sehr wohl möglich, daß sein Hinweis auf die Herstellung von Brillen geführt hat. Wenn sich Alhazen auch auf die antiken Optiker stützt, so ragt er über Ptolemäos als den letzten und bedeutendsten, den wir erwähnt haben, doch hinaus. Während die frühere Geschichtschreibung Alhazen nur gering einschätzte[3]), ist sein Verdienst und die Selbständigkeit, die er in vielen Teilen seiner Schriften zeigt, durch die neuere Forschung gewürdigt worden[4]).

Neben der Optik wurde auch die Mechanik von den Arabern gepflegt. So begegnen wir bei ihnen der Anwendung des Pendels als Zeitmesser, sowie genaueren Bestimmungen der spezifischen Gewichte. Eine aus dem 12. Jahrhundert herrührende Tabelle[5]) enthält folgende Werte:

Gold	19,05	(statt 19,26 nach neuerer Bestimmung),
Quecksilber	13,56	(„ 13,59),
Kupfer	8,66	(„ 8.85),
Blei	11,32	(„ 11,35),
Seewasser	1,041	(„ 1,027),
Blut	1,033	(„ 1,045).

[1]) Zeitschr. d. morgenl. Gesellsch. 1882. Baarmann, Über das Licht von Ibn al Haitam.

[2]) Optic. Thes. VII. 48. Siehe auch Schnaase, „Alhazen" in den Schriften der Danziger Gesellschaft; n. Folge. Bd. VII. S. 140.

[3]) Montucla z. B.

[4]) Besonders durch Schnaase.

[5]) Die Tabelle rührt von Al Khazini (Qazwini) her, der im Jahre 1137 ein die „Wage der Weisheit" betiteltes Buch verfaßte. Siehe Wiedem. Annalen. Bd. 20. S. 539.

Die Bestimmungen erfolgten vermittelst der Wage oder eines Gefäßes, das die von einer gewogenen Menge des zu untersuchenden Körpers verdrängte Menge Wassers zu finden gestattet. Für Flüssigkeiten bediente man sich des Aräometers, das schon die Alexandriner zu diesem Zwecke benutzt hatten[1]).

Diese Leistungen der Araber verdienen um so mehr Bewunderung, wenn man bedenkt, daß zur selben Zeit das christliche Abendland von scholastischen Zänkereien erfüllt war. So befindet sich z. B. in dem Hauptwerk des Thomas von Aquino[2]) unter mehreren hundert Kapiteln nur ein einziges, das von den „natürlichen Wirkungen der Dinge" handelt, während sich eine ganze Anzahl mit der Nahrung, der Verdauung und dem Schlaf der Engel beschäftigen. Derselbe Thomas von Aquino, den die Scholastiker als ihren großen Meister verehrten, erklärte das Streben nach Erkenntnis der Dinge für Sünde, soweit es nicht auf die Erkenntnis Gottes abziele[3]).

Große Verdienste haben sich die Araber auch um die Entwicklung der Chemie erworben. Zwar wurde man schon lange vor ihnen durch hüttenmännisches und gewerbliches Schaffen mit einer Reihe stofflicher Veränderungen vertraut. Auch empfingen zweifelsohne die Araber die erste Anregung zu ihrer Beschäftigung mit der Chemie in Syrien, Mesopotamien und Ägypten, wo man die zahlreichen Erfahrungen gesammelt hatte. Bei den späteren Alexandrinern und den Arabern finden wir indes die Beschäftigung mit den stofflichen Veränderungen losgelöst von den alltäglichen Nützlichkeitszwecken und in den Dienst eines Strebens gestellt, das einen Ansporn verlieh, wie es kein rein wissenschaftliches Interesse in höherem Maße vermocht hätte.

Aus der Beobachtung, daß man durch Zusammenschmelzen unedler Metalle dem Golde und dem Silber ähnliche Legierungen erhält, daß aus Rohblei durch geeignete Behandlung wirkliches Silber und aus Amalgam Gold abgeschieden werden kann, hatte sich nämlich die Annahme von der Möglichkeit, unedle Metalle in edle zu verwandeln, gebildet. Bei dem Mangel an Einsicht in den chemischen Prozeß hielt man die genannten Vorgänge für wirkliche Umwandlungen der Stoffe. Da man nun durch Verbesserung der hüttenmännischen Betriebe eine größere Ausbeute

---

1) Näheres siehe Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig, Wilh. Engelmann. 1899 Seite 71 u. f.

2) Starb 1274.

3) Summa theologiae. Venet. 1593. T. XI. p. 407.

erzielte, so lag der Gedanke nahe, ob nicht durch geeignete Behandlung das gesamte Rohmaterial in edles Metall verwandelt werden könne. Die Periode, in welcher die Erforschung stofflicher Veränderungen von diesem Bestreben geleitet wurde, hat man als das Zeitalter der Alchemie bezeichnet.

Die ersten alchemistischen Regungen finden sich schon bei den Alexandrinern. Aus dem dritten nachchristlichen Jahrhundert sind nämlich Schriften alexandrinischen Ursprungs bekannt geworden, die sich mit dem Problem der Metallveredelung beschäftigen[1]. Von den Gelehrten des unterjochten Ägyptens und den nestorianischen Schulen Vorderasiens ging zweifelsohne für die Araber der Antrieb aus, sich mit dem gleichen Problem zu befassen. Schon das Wort Chemie deutet vielleicht darauf hin. Es ist nämlich gleichlautend mit einer alten Benennung Ägyptens. Wie Plutarch berichtet, haben die Bewohner dieses Land der schwarzen Farbe seines Erdreichs wegen chêmi genannt. Auch die Bezeichnung „schwarze Kunst" würde dadurch vielleicht ihre Erklärung finden.

Die alexandrinischen Gelehrten, die sich mit chemischen Vorgängen befaßten, ließen sich in ihren Anschauungen von den Theorien leiten, die Platon und Aristoteles über die Natur der Materie entwickelt hatten. Die praktische Grundlage, auf der sich die antike Alchemie erhob, war neben der hüttenmännischen Gewinnung der Metalle, vor allem die Verarbeitung der Edelmetalle zu Schmuckgegenständen. In dieser Industrie regte sich seit den frühesten Zeiten das Bestreben, Minderwertiges an Stelle des Wertvollen zu setzen und auf diese Weise den Käufer zu übervorteilen. Man erreichte dies entweder dadurch, daß man dem Golde und dem Silber andere Metalle beimengte oder daß man Metalle und Legierungen oberflächlich färbte, um ihnen ein dem Golde oder dem Silber ähnliches Aussehen zu verleihen. Als ein Mittel dieser Art diente zum Beispiel die Verbindung des Arsens mit dem Schwefel, die in der Mineralogie noch heute den Namen Auripigment führt. Auch das Quecksilber, mit dem man wahrscheinlich

[1]) Der Urtext dieser Schriften nebst französischer Übersetzung wurde von Berthelot in den Jahren 1887 und 1888 unter dem Titel „Collection des Anciens Alchimistes Grecs" veröffentlicht.

„Ich habe, sagt Berthelot (Die Chemie im Altertum und Mittelalter, S. 5) zum erstenmal die Texte der griechischen Chemiker, dann diejenigen der syrischen und arabischen veröffentlicht und zugänglich gemacht, Handschriften, die bis dahin in den großen Bibliotheken von Paris, London und Leyden vergraben und vergessen waren.

durch den von den Karthagern in Spanien betriebenen Bergbau bekannt wurde, fand zur Herstellung von Legierungen und oberflächlichen Veränderungen schon lange vor dem Beginn der christlichen Zeitrechnung Verwendung. Wenn man all diese Praktiken, an die sich bald gewisse Vorstellungen und Spekulationen anschlossen, schon mit dem Namen Chemie belegen will, so geht die chemische Wissenschaft in ihren Anfängen bis tief ins Altertum zurück. Das Bekanntwerden mit Stoffen, welche die Metalle oberflächlich veränderten, führte ganz von selbst zum Suchen nach einem, die gewünschten Veränderungen hervorrufenden Universalmittel. So entstand die Lehre vom „Stein der Weisen", dem man, ohne ihn gefunden zu haben, später immer neue Wirkungen beilegte, insbesondere diejenige, Krankheiten zu heilen und das Leben zu verlängern.

Eine wichtige Rolle spielte bei jenen Veränderungen das Quecksilber. Es ist begreiflich, daß ein so sonderbares Metall bei seiner Entdeckung angestaunt wurde und die Phantasie mächtig erregte. Welch' universelle Bedeutung man dem Quecksilber zuschrieb, beweist die Stelle eines Briefes aus dem vierten nachchristlichen Jahrhundert. Sie lautet[1]: „Was ich lernen möchte, lehre es mich Das ist das Werk, das Du kannst, die Transmutation. Das Quecksilber nimmt doch auf jede Art das Aussehen aller Körper an. Es bleicht alle Körper und zieht ihre Seelen an, nimmt sie durch Sieden in sich und bemächtigt sich ihrer. Ist es doch dazu geeignet, weil es in sich selbst die Prinzipien alles Flüssigen enthält. Wenn es die Transmutation durchgemacht hat, bereitet es alle Farbenwechsel vor. Es bildet den feststehenden Grund, während doch die Farben keine eigentliche Grundlage haben. Das Quecksilber wird, indem es seinen eigenen Grund verliert, ein abänderungsfähiges Etwas, und zwar abänderungsfähig durch die auf die metallischen Körpern ausgeübten Behandlungen."

Zahlreiche, aus dem Orient stammende, chemische Kenntnisse gelangten durch die Araber nach Spanien. Von hier aus wurden sie dem christlichen Abendlande übermittelt, wo sie einen besonders günstigen Boden fanden. Seit dem 13. Jahrhundert stand infolgedessen die alchemistische Kunst in Frankreich, in Deutschland und in England in Blüte. Eine nicht geringe Zahl von Kenntnissen, die sich auf das Verhalten und die Verarbeitung der Metalle beziehen, war zweifelsohne im Abendlande selbst aus dem Altertum ins Mittel-

[1] Berthelot a. a. O. S. 20.

alter hinüber gerettet worden. Man darf daher die Rolle, welche die Araber gespielt haben, auch nicht zu hoch einschätzen. So existiert noch heute ein Manuskript aus der Zeit Karls des Großen [1]), das den Titel „Compositiones ad tingenda" führt und Vorschriften über das Färben von Mosaiken und Häuten, über das Vergolden, das Löten usw. enthält. Aus Manuskripten des 10. Jahrhunderts ist man ferner mit einem größeren Werke über Färberei (Mappae clavicula) bekannt geworden, das nach Berthelot keine Spur von arabischer Beeinflussung zeigt. Die Vorschriften, welche diese abendländischen Schriften des Mittelalters enthalten, sind vielmehr oft wörtlich den griechischen Alchemisten entnommen. Die frühere Meinung, daß man es in der Alchemie ausschließlich mit einer Schöpfung der Araber zu tun habe, hat sich somit als unhaltbar erwiesen. Trotzdem ist das Verdienst der Araber auf dem Gebiete der Alchemie nicht gering einzuschätzen. Sie haben diese Wissenschaft, wie sie ihnen aus dem Altertum überkommen war, nicht nur erhalten und verbreitet, sie haben sie auch fortgeführt und wesentlich bereichert. Über die chemischen Einzelkenntnisse der Araber erfahren wir manches aus dem um 975 von Abu Mansur verfaßten „Buch der pharmakologischen Grundsätze" [2]). Abu Mansur erwähnt z. B. die Anwendung des Gipsverbandes bei Knochenbrüchen, ein Verfahren, das die neuere Medizin erst im 19. Jahrhundert wieder aufnahm. Trinkbares Wasser, heißt es an einer anderen Stelle des Buches, läßt sich durch Destillation von Meerwasser in ähnlicher Weise bereiten, wie man Rosenwasser destilliert.

Hatte man die Schwefelverbindungen des Arsens (Realgar und Auripigment) schon im Altertum unterschieden, so bringt uns das Buch Abu Mansurs die erste Nachricht über den weißen Arsenik. Die Arsenikverbindungen werden als flüchtig und giftig, aber als heilkräftig bezeichnet. Das Gleiche wird beim Quecksilber hervorgehoben, das in Form von Salbe gegen Ungeziefer empfohlen wird. Die mineralischen Säuren finden dagegen bei Abu Mansur noch keine Erwähnung. Es ist daher wohl anzunehmen, daß sie zu seiner Zeit noch nicht bekannt waren. Die Salpetersäure und das Königswasser begegnen uns in der Literatur des Mittelalters zuerst im 13. Jahrhundert [3]). Diese chemischen

[1]) In der Bibliothek zu Lucca. Siehe Berthelot a. a. O. S. 28.

[2]) Eine Übersetzung erschien in den „Historischen Studien, Jahrg. 1893". Einen Auszug brachte E. v. Lippmann unter der Überschrift „Chemie vor tausend Jahren" in der Zeitschrift f. angewandte Chemie. 1901. H. 26.

[3]) Näheres siehe bei E. v. Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Leipzig 1906. S. 139.

Agentien können auch nicht viel früher bekannt geworden sein, weil der Salpeter dem Altertum unbekannt war und erst um 1200 durch die Araber als „Salz von China“ nach Europa gelangte. In China selbst ist dieses Salz zu explosiven Mischungen wahrscheinlich nicht schon vor Beginn unserer Zeitrechnung, sondern erst viel später angewendet worden [1]).

Durch die Araber wurde auch der Anbau des Zuckerrohrs von Indien nach den westlichen Kulturländern verbreitet. Das Zuckerrohr hatte man durch den Zug Alexanders des Großen kennen gelernt. Die Bereitung des festen Zuckers wurde erst mehrere hundert Jahre n. Chr. erfunden [2]). Seit etwa 750 n. Chr. wurde das Zuckerrohr in Ägypten angebaut. Bald nach der Entdeckung Amerikas wurde es nach St. Domingo verpflanzt. So sehen wir, wie die Ausbreitung einer Pflanze, die uns eine der wichtigsten organischen Verbindungen liefert, aufs engste mit dem Gange der geschichtlichen Ereignisse verknüpft ist.

Technisch und wissenschaftlich von großer Wichtigkeit, aber auch von unheilvollen Folgen war die von arabischen Chemikern und Ärzten um 900 gemachte Entdeckung, daß sich durch Destillation aus dem Wein der berauschende Stoff dieses Getränkes ababsondern läßt. Sie nannten ihn Al-kohol, d. h. Extrakt, und nahmen ihn zum größten Unsegen für die Menschheit unter die Arzneimittel auf. Insbesondere wurde der Alkohol als Vorbeugungsmittel gegen die großen Seuchen (Pest, schwarzer Tod) betrachtet, welche im Mittelalter Europa heimsuchten.

Als der bedeutendste arabische Schriftsteller des alchemistischen Zeitalters hat lange Zeit Geber gegolten, der während der ersten Hälfte des 8. Jahrhunderts gelebt haben soll. Er wird als der Verfasser einer Anzahl Schriften genannt, die in lateinischer Übersetzung auf uns gekommen sind [3]). Diese Schriften, insbesondere das „Summa perfectionis magisterii“ betitelte Hauptwerk, sind in der Form, in der sie sich erhalten haben, im christlichen Europa etwa seit dem 13. Jahrhundert bekannt. Nach den Untersuchungen [4]) Berthelots und Steinschneiders sind Gebers Person und Be-

[1]) Lippmann, a. a. O. S. 132.

[2]) Nach Lippmann (a. a. O. S. 263) in der Zeit zwischen 300 und 600 nach Chr. Geb.

[3]) Deutsche Ausgaben erschienen 1710 in Erfurt und 1751 in Wien. Eine Aufzählung der Schriften Gebers siehe bei Wüstenfeld, Geschichte der arabischen Ärzte und Naturforscher. 1840. S. 12 u 13.

[4]) Siehe auch v. Lippmann, in der Zeitschrift f. angewandte Chemie. 1901. H. 26.

deutung in geschichtlicher Hinsicht sehr in Dunkel gehüllt. Diejenigen arabischen Originalschriften, als deren Verfasser er allenfalls angesehen werden kann, enthalten nämlich wenig von dem Inhalt der später unter seinem Namen gehenden lateinischen Übersetzungen. Eine Probe aus einer dieser Schriften hat Berthelot mitgeteilt[1]). Danach handelt es sich meist um marktschreierische Deklamationen und unklare Darstellungen. Geber empfiehlt in seinen Schriften, seine Mitteilungen geheim zu halten. Er beruft sich oft auf seinen religiösen Standpunkt als Muselmann, um dem etwaigen Verdacht, daß er übertreibe oder schwindele, zu begegnen. Die Metalle vergleicht Geber mit lebenden Wesen, wie es schon die alexandrinischen Alchemisten taten. Auch begegnet uns bei ihm die Lehre, daß jedes Ding neben seinen äußeren, erkennbaren noch geheime (okkulte) Eigenschaften habe. So sagt er „Das Blei ist im Äußeren kalt und trocken und im Innern warm und feucht, während das Gold warm und feucht ist im Äußern, dagegen kalt und trocken im Innern". Dem entspricht die Anschauung, die uns bei Rhases begegnet, nach der das Kupfer in seinen verborgenen Eigenschaften Silber sei. Wem es gelänge, die rote Farbe aus dem Kupfer auszuscheiden, der führe es in das Silber, das es seiner verborgenen Natur nach sei, zurück. Eine kurze Darstellung des Inhalts der Pseudo-Geberschen Schriften[2]) wird am besten über das Ziel und den Umfang der Alchemie des späteren Mittelalters belehren, wenn sich auch, in Anbetracht der großen Unvollständigkeit, in welcher die Literaturen des Altertums und des Mittelalters erhalten blieben, nicht mehr sicher feststellen läßt, wieviel die Verfasser jener Schriften selbständig gefunden und was sie früheren Schriftstellern entlehnt haben.

Die wichtigste Tatsache, die uns in den Pseudo-Geberschen Werken begegnet, ist die, daß man mit der Salpetersäure, der Schwefelsäure und dem Königswasser bekannt ist, während sich das Altertum nur im Besitz der Essigsäure befand. Die erstgenannten Säuren erhielt man durch Erhitzen von Salzen und Salz-

[1]) Berthelot a. a. O. S. 61.

[2]) Die wichtigsten sind die „Summa perfectionis magisterii", die Schrift „de inventione veritatis" und die „Alchimia Geberi". In der letzteren wird z. B. die Zubereitung der Salpetersäure und des Königswassers beschrieben. Nach Berthelot ist es unrichtig, wenn man annimmt, die genauere Kenntnis unserer Mineralsäuren und ihrer Salze sei auf die arabischen Autoren des 12. und 13. Jahrhunderts zurückzuführen. Vielmehr wurden die „komplizierten und umständlichen Darstellungsmethoden von damals erst im lateinischen Abendland im Laufe des 14. und 15. Jahrhunderts entwirrt."

gemischen, eine Darstellungsart, die für die Schwefelsäure bis zur Erfindung des englischen Verfahrens die einzige blieb. Salpetersäure erhielt man durch Erhitzen eines Gemenges von Salpeter und Vitriol. Ein Zusatz von Salmiak zur Salpetersäure lieferte das Königswasser, dessen Eigenschaft, das Gold, den König der Metalle, aufzulösen, den Alchemisten nicht entging. Die Herstellung einer solchen Lösung hatte man lange angestrebt, weil man sich von ihr die Heilung aller Krankheiten versprach.

Auf Grund der Kenntnis der Mineralsäuren konnte sich nun eine Chemie entwickeln, die auf nassem Wege verfuhr, während man bis dahin vorzugsweise eine Chemie der Schmelzprozesse betrieben hatte. So gelangte man durch Auflösen von Silber und anderen Metallen in Salpetersäure zum Höllenstein und vielen Salzen, welche den Alten, wie z. B. die Salze des Quecksilbers, nicht bekannt waren. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß die erhaltenen Verbindungen zunächst sehr unrein waren. Doch kannte man auch schon die wichtigsten Verrichtungen, die auf eine Reindarstellung der gewonnenen Präparate abzielten. Es waren dies außer der Destillation, die man schon bei den Alexandrinern erwähnt findet, vor allem das Umkristallisieren, die Sublimation und das Filtrieren. Auch Wasserbäder und Öfen zu chemischem Gebrauch finden sich in den Pseudo-Geberschen Werken beschrieben[1]).

Mit dem chemischen Verhalten der Metalle waren die Verfasser jener Werke weit besser als das Altertum bekannt; sie stellten z. B. aus den Metallen eine Reihe von Sauerstoffverbindungen her. So finden wir bei ihnen die erste Nachricht über die Gewinnung des Quecksilberoxyds[2]), einer Substanz, die in der späteren Entwicklung der Chemie die größte Rolle gespielt hat. Nicht nur mit Sauerstoff, sondern auch mit Schwefel wußte man die Metalle zu verbinden. Die entstandenen Sulfide fand man schwerer als das zur Verwendung kommende Metall, während man unrichtigerweise annahm, daß mit der Oxydation eine Verminderung des Stoffes verbunden sei.

Auch in der Kenntnis der Verbindungen der Leichtmetalle war man in dieser Periode einen Schritt weiter gekommen. Pottasche wurde durch Verbrennen von Weinstein, Soda nach dem bis

1) Siehe auch die Abhandlung von E. Wiedemann, Über chemische Apparate bei den Arabern; erschienen in Diergart, Beiträge aus der Geschichte der Chemie.

2) Kopp, Geschichte der Chemie. I. 53.

zur Einführung des Leblancprozesses üblichen Verfahren (Einäschern von Seepflanzen) dargestellt. Durch einen Zusatz von Kalk machte man die Lösungen dieser beiden Salze ätzend und erhielt so Kalilauge und Natronlauge[1]). Letztere dienten zur Auflösung von Schwefel, welcher aus der alkalischen Lösung durch Säuren in feinster Verteilung als Schwefelmilch wieder ausgefällt wurde[2]).

Die chemischen Einzelkenntnisse suchte man auch unter den Gesichtspunkt einer Theorie zu bringen, die bei dem damals noch herrschenden Mangel an Einsicht in den chemischen Prozeß die Wahrheit allerdings noch gänzlich verfehlte. Die Metalle hielt man für Gemenge von Quecksilber und Schwefel[3]). Der Schwefel (Sulphur) war in den Metallen, wie in den brennbaren Substanzen überhaupt, der Träger der Brennbarkeit. Er sollte den Metallen auch die Farbe verleihen. Mercurius (Quecksilber) dagegen galt als derjenige Grundbestandteil, welcher die Schmelzbarkeit, den Glanz und die Dehnbarkeit bedingte. Unter dem Sulphur und dem Mercurius der Alchemisten muß man sich indessen nicht den gemeinen Schwefel und das gewöhnliche Quecksilber vorstellen. Diese Elemente bestanden nur vorwiegend aus Sulphur, beziehungsweise Mercurius, waren aber nicht damit völlig identisch. Der gemeine Schwefel und der Sulphur der Alchemisten verhielten sich vielmehr zu einander etwa wie die Steinkohle und das Element Kohlenstoff. In den edlen Metallen sollte Mercurius überwiegen. Durch Abänderung des Verhältnisses dieser vermeintlichen Bestandteile konnten die Metalle ineinander übergeführt werden. So nahm das Kupfer eine Stelle zwischen Gold und Silber ein. Es mußte sich daher leicht in das eine oder in das andere umwandeln lassen. Durch Erhitzen mit Galmei[4]) wurde es dem Golde durch Zusammenschmelzen mit Arsenik dem Silber angenähert. Die auf solche Weise herbeigeführte Änderung der roten Farbe in Gelb und Weiß hielt man für den Beginn des Überganges in ein anderes Metall[5]). Zinn war

[1]) $Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2\,NaOH + CaCO_3$.

[2]) $6\,KOH + 12\,S = K_2S_2O_3 + 2\,K_2S_5 + 3\,H_2O$

$K_2S_2O_3 + 2\,HCl = 2\,KCl + SO_2 + S + H_2O$

$K_2S_5 + 2\,HCl = 2\,KCl + H_2S + 4\,S$.

[3]) In den echten Schriften Gebers ist nach Berthelot diese Theorie noch nirgends erwähnt (a. a. O. S. 65).

[4]) Die Kenntnis des metallischen Zinks läßt sich nicht weiter als bis gegen den Ausgang des Mittelalters zurückverfolgen. Die Legierung von Kupfer und Zink, das Messing, war dagegen schon zur römischen Kaiserzeit bekannt. Mitteil. z Gesch. d. Med. u. d. Naturwissensch. 1903. S. 150 u. 174.

[5]) Zur Erläuterung diene folgende von Berthelot (a. a. O. S. 66) wiedergegebene Stelle: Das Kupfer wird von einem trüben und dicken Queck-

reiner und enthielt mehr Mercurius als Blei. Daß letzteres sich durch Zusatz von Quecksilber in Zinn umwandeln lasse, galt als Tatsache. Bei allem weiteren Herumprobieren verfolgte man das Ziel, zunächst einen Stoff herzustellen, mit dem die Metallverwandlung völlig gelingen sollte. Diesen hypothetischen Stoff nannte man den Stein der Weisen. Die späteren Alchemisten des christlichen Abendlandes legten ihm die wunderbarsten Wirkungen bei. Da sie, wie auch die späteren arabischen Alchemisten im wesentlichen den gleichen, soeben entwickelten Ansichten huldigten und zunächst auch keine bedeutende Vermehrung der Einzelkenntnisse stattfand, so kann von einem nennenswerten Fortschritt der Chemie im weiteren Verlaufe dieser Periode kaum die Rede sein. Vielmehr fand zwischen den beiden Pseudowissenschaften der Alchemie und der Astrologie, eine immer größere Verschmelzung unter gleichzeitiger Durchtränkung mit mystischen Elementen statt.

Wir wenden uns jetzt den Verdiensten zu, die sich die Araber um die Erhaltung der alten naturgeschichtlichen Schriften erworben haben. Von einem wesentlichen Fortschritt auf dem Gebiete der Zoologie und der Botanik kann im Zeitalter dieses Volkes nicht die Rede sein, zumal die Araber vor anatomischen Untersuchungen geradezu einen Abscheu hegten. Auf dem Gebiete der menschlichen Anatomie beschränkten sie sich daher ganz auf Aristoteles und Galen, während sie sich bei der Beschäftigung mit der Tier- nnd Pflanzenwelt, wie das spätere Altertum, vorzugsweise von dem Bestreben leiten ließen, den Schatz der Heilmittel kennen zu lern n und zu vermehren.

Von dem gleichen Standpunkt aus wandten die Araber den Mineralien ihr Interesse zu. Ein Bild von den mineralogischen Kenntnissen und Anschauungen der Araber erhält man aus der im 13. Jahrhundert entstandenen Kosmographie des Ibn Mahmud al-Kazwini[1]). Danach entstehen die durchsichtigen Mineralien

silber und einem trüben und roten Schwefel erzeugt. — Das Zinn wird von einem klaren Quecksilber, welches kurze Zeit mit einem weißen und klaren Schwefel gekocht wird, erzeugt. Wenn die Kochung von langer Dauer ist, gewinnt man Silber usw. Diese Erzeugung der Metalle wird im Schoß der Erde allerdings in dem langen Zeitraum von hundert Jahren vollendet, aber die Kunst kann die Vollendung abkürzen. Sie wird also in einigen Stunden oder in einigen Minuten in Erfüllung gehen."

1) Eine unvollendet gebliebene Übersetzung wurde nach der Wüstenfeldschen Textausgabe von H. Ethé im Jahre 1868 herausgegeben. Den Abschnitt, der von den Steinen handelt, hat (1895) J. Ruska übersetzt und erläutert. Er wurde hier zugrunde gelegt.

aus Flüssigkeiten, die übrigen aus der Mischung des Wassers mit der Erde. Das Wasser soll ebenso zu Stein werden, wie sich Wasser aus der Luft verdichtet. „Wenn es möglich ist", sagt Al Kazwini, „daß das Wasser Luftform annimmt, so muß es auch möglich sein, daß es die Form des Wassers ablegt und diejenige der Erde annimmt." Die Besprechung im einzelnen wird mit der Bemerkung eingeleitet, daß nicht alle, sondern nur die wunderbarsten Eigenschaften der Mineralien beschrieben werden sollen. Unter diesen Eigenschaften sind vor allem Heil- und Zauberwirkungen verstanden. So heißt es vom Bleiglanz: „Aristoteles sagt: Dies ist ein bekannter Stein, der in vielen Gruben gewonnen wird. Es ist ein bleihaltiges Mineral, als Augenpulver ist es gut für die Augen, es verschönt sie und beseitigt das Fließen der Tränen." Die Eigenschaften des Bergkristalls werden mit folgenden Worten beschrieben: „Der Bergkristall ist eine Art Glas, nur daß er härter ist. Die Könige benutzen Gefäße aus Bergkristall auf Grund der Überzeugung, daß das Trinken daraus gesund sei." Die Darstellung des roten Quecksilberoxyds durch längeres Erhitzen des Quecksilbers war bekannt. Die entstehende rote Masse wurde indessen für künstlichen Zinnober gehalten. Der natürliche Zinnober entstehe dagegen durch die Vereinigung von Quecksilber und Schwefel im Innern der Erde. Unter den Eigenschaften des Alauns wird erwähnt, daß er Blutungen zum Stillstand bringe. Weiter heißt es: „Wenn die Färber ein Kleid färben wollen, tauchen sie es zuvor in Alaun. Die Farbe geht dann nie wieder weg." Besondere Zauberkräfte wurden dem Amethyst beigelegt: „Das ist ein Stein, welcher das Feuer auslöscht, wenn er darin liegt. Legt man ihn unter die Zunge und trinkt ein berauschendes Getränk darüber weg, so steigen die Dünste nicht zu Kopf, und man wird nicht betrunken." Interessant ist, daß das Bohren mit Diamanten schon Erwähnung findet. Die Werkleute befestigen nach Al Kazwini Stücke des Diamanten an den Rand des Bohrers und bohren damit die harten Steine. Mit einem auf geeignete Weise gefaßten Diamanten dringt ferner der Arzt in die Harnröhre ein, um steinige Konkretionen zu zerbröckeln. Vom Magneten wird berichtet: „Im indischen Ozean befindet sich eine Insel aus diesem Mineral. Wenn die Schiffe in die Nähe gelangen und etwas an ihnen aus Eisen ist, so fliegt es wie ein Vogel fort und heftet sich an den Magneten." Die Kosmographie Al Kazwinis gestattet auch einen Einblick in die zoologischen Kenntnisse und Anschauungen der Araber. Auch auf diesem Gebiete sind die letzteren im wesentlichen nur die

Vermittler zwischen dem Altertum und der neueren Zeit gewesen. Selbständige Leistungen und neue Auffassungen lassen sich in den auf uns gekommenen arabischen Schriften zoologischen Inhalts nicht nachweisen, wenn es auch an einzelnen zutreffenden Bemerkungen nicht fehlt. So sagt Al Kazwini an einer Stelle, jedes Tier besitze die Glieder, die zu seinem Körper stimmen und solche Gelenke, welche zu seinen Bewegungen passen. Auch sei die Haut so beschaffen, wie es der Schutz der Tiere erfordere. Die Einzelkenntnis der Tierformen erhielt durch die Araber eine bedeutende Erweiterung, da sich ihre Forschungsreisen nach China, Südasien, Ostafrika, ja selbst bis Sumatra und Java erstreckten. Wie in den zur Zeit des Mittelalters im Abendlande entstandenen zoologischen Schriften[1], so nahmen auch in den Kosmographien der Araber die Tierfabeln einen großen Raum ein. Die Erzählung von dem Walfisch, der für eine Insel gehalten wird, an welcher die Schiffe landen, begegnet uns mit der Abänderung, daß die Rolle dieses Tieres bei den Arabern eine riesige Seeschildkröte einnimmt. Neben den arabischen Bearbeitungen der Naturgeschichte der Tiere sind die Übersetzungen der Werke des Aristoteles und des Galen zu nennen. Ibn Sina (Avicenna), der zu Beginn des 11. Jahrhunderts lebte, soll sämtliche Schriften des Aristoteles in 20 Bänden kommentiert haben. Ein Kommentar zu den von Aristoteles verfaßten Büchern über die Tiere hat sich in lateinischer Übersetzung erhalten[2]. Auch Ibn Roschd (Averroes), der gleich Avicenna für die Philosophie des Mittelalters von hervorragender Bedeutung war, schrieb Kommentare zu den naturgeschichtlichen Schriften des Aristoteles. Rein botanische Werke entstanden bei den Arabern ebensowenig, wie bei den auf Theophrast folgenden griechischen Schriftstellern. Die Pflanzenkunde verfolgte auch bei ihnen ausschließlich praktische Zwecke, indem sie als Heilmittelkunde, Ackerbau- oder Gartenbaulehre auftrat. Gleichzeitig schleppte sie dabei einen immer mehr anschwellenden, auf Nomenklatur und Synonymik hinauslaufenden Wust philologischer Gelehrsamkeit mit sich. Von den Schriften griechischen Ursprungs wurde besonders Dioskorides ins Arabische übersetzt und kommentiert. Zu allgemeineren Betrachtungen über die Pflanze hat sich wohl nur Avicenna erhoben. Letzterer unterschied drei Stufen der Beseelung: die Pflanzen-, die Tier- und

---

1) Siehe über den „Physiologus“ an späterer Stelle.

2) Siehe Carus, Geschichte der Zoologie. S. 173.

die Menschenseele. Der Pflanzenseele schrieb er eine ernährende, eine auf das Wachstum gerichtete und eine erzeugende Kraft zu.

Unter den auf Landwirtschaft bezüglichen arabischen Schriften ist das Werk von Ibn Alawwâm zu nennen, von dem noch mehrere vollständige Handschriften vorhanden sind. Es entstand im 12. Jahrhundert und handelt vom Boden, von der Düngung und der Bewässerung, ferner von der Baumzucht, vom Getreide- und vom Gartenbau[1]). Am genauesten wird über die Baumzucht berichtet. Zahlreiche Arten der Veredelung werden beschrieben und zum Teil durch Abbildungen erläutert. Ein besonderer Abschnitt handelt von dem Alter der Bäume. Viele, die Pflanzen und ihre Verbreitung betreffenden Mitteilungen finden sich auch in der umfangreichen geographischen Literatur der Araber zerstreut.

Im 14. Jahrhundert ragt das Reisewerk Ibn Bathuthas, das demjenigen Marco Polos an die Seite gestellt werden kann, hervor[2]). Sein Verfasser bereiste nicht nur die Mittelmeerländer, sondern gelangte auch nach Indien und China. Es wird manche Pflanze der bereisten Länder beschrieben und ihre Verwendung gewürdigt. Doch hat sich der Verfasser seine Kenntnisse mehr auf den Marktplätzen als in der freien Natur gesammelt, so daß der botanische Inhalt des Werkes dem geographischen gegenüber an Bedeutung zurücktritt.

Endlich ist noch zu erwähnen, daß im Anschluß an die Chemie und die Botanik auch die Heilkunde bei den Arabern eifrig gefördert wurde. Sie knüpften dabei an die ihnen von den Griechen (Galen) und von den Indern übermittelten Kenntnisse an. Was sie neu schufen, war insbesondere die Pharmazie, die im 8. Jahrhundert, in enger Verbindung mit der Chemie, in den arabischen Ländern zuerst als selbständige Wissenschaft aufkam[3]). Auch auf den Gebieten der Krankenpflege, des Hospitalwesens und der Heilmittellehre ist manches auf die Araber zurückzuführen. Da ihnen ihre Satzungen die Zergliederung von Leichen verboten, blieben sie hinsichtlich der Anatomie auf Galen angewiesen. Daß die Chirurgie bei ihnen dennoch Fortschritte machte, ist auf indische Einflüsse zurückzuführen. Die Bearbeitung, welche Galens Schriften durch Ibn Sina (Avicenna) erfuhr, erschien um das Jahr 1000

[1]) Meyer, Geschichte der Botanik. III. 263.

[2]) Ins Englische übersetzt von S. Lee. London 1829.
Ins Französische von Detremerie und Sanguinetti. Paris 1854.

[3]) Näheres enthält: Z. Berendes, Das Apothekenwesen, seine Entstehung und geschichtliche Entwicklung. Stuttgart 1907. S. 61.

unter dem Namen des „Kanon“ und blieb für das Mittelalter maßgebend, bis Paracelsus die Werke Avicennas den Flammen übergab. Auch auf dem Gebiete der Augenheilkunde haben sich die Araber Verdienste erworben. Zwar fußten sie auf der von den Griechen geschaffenen Grundlage. Doch versahen sie diesen Teil der Medizin „mit eigenen Zutaten“ und gestalteten sie ihn „nach eigenem Plan“ [1]).

Nachdem die arabische Kultur ihren anregenden Einfluß auf das christliche Abendland ausgeübt hatte, ging sie einem raschen Verfall entgegen. Das mächtige Kalifat von Bagdad löste sich in eine Anzahl kleinerer Reiche auf. Durch den von Asien im 13. Jahrhundert daherbrausenden mongolischen Völkerstrom wurden aber auch sie vernichtet. „Bis heute hat sich der Orient von den Schlägen jener grausigen Zeit noch nicht wieder erholen können [2]).“ Ähnlich erging es der maurischen Herrschaft in Spanien. Die kleinen Reiche mohammedanischen Bekenntnisses, die sich dort gebildet hatten, wurden durch die von Norden her vordringende christliche Bevölkerung unterjocht. Dadurch wurde über die blühende Halbinsel zunächst der Fluch der Verödung gebracht. Die fanatische Zerstörungswut, welche die ersten Christen, wie auch die Araber, im Beginn ihrer Laufbahn an den Schätzen der Wissenschaft ausließen, schien wieder aufgelebt zu sein. Als nach der Vereinigung von Kastilien und Aragon Granada fiel, ging z. B. die dortige große Bibliothek mit ihren Hunderttausenden von Bänden in Flammen auf, ein unersetzlicher Verlust, da sie zahlreiche arabische Ausgaben der alten Schriftsteller enthielt. Nach der durch die Mongolen herbeigeführten Vernichtung der arabischen Kultur in Vorderasien fand die arabische Wissenschaft zwar Zufluchtsstätten in Syrien und in Ägypten. Die arabische Literatur bildete aber seitdem kein Ganzes mehr, sondern sie fristete nur noch in den einzelnen Ländern ein Sonderdasein [3]). Die Astronomie sank zu einer Art Küsterdienst an den Moscheen herab. Die Naturwissenschaften endeten in Zauberspuk und Spielereien. Schließlich gerieten Syrien und Ägypten in die Hände der osmanischen Sultane. Ein Glück war es noch immerhin, daß die Osmanen während der Blüte ihrer Herrschaft

1) Siehe Hirschberg, Über das älteste arabische Lehrbuch der Augenheilkunde (Berichte der Berliner Akademie der Wissenschaften. 1903).

Ferner J. Hirschberg, Geschichte der Augenheilkunde. Zweites Buch. 1. Abteil. Geschichte der Augenheilkunde bei den Arabern. Leipzig, W. Engelmann. 1905.

2) C. Brockelmann, Gesch. d. arab. Literatur, Bd. II. (1902). S. 3.

3) Brockelmann, a. a. O. Bd. II. S. 6.

im Gegensatz zu den sinnlos wütenden Mongolen die Pflege der geistigen Güter nicht vernachlässigten. Muhammed, der Eroberer Konstantinopels, hat sich sogar eingehender mit wissenschaftlichen Dingen beschäftigt. Doch hatte damals der Orient schon längst die Führung auf den Gebieten des geistigen Lebens an den Occident, vor allem an Italien, abgetreten.

Indessen nicht nur die Befehdung durch andere Staaten brachte die Entwicklung der arabischen Kultur zum Stillstand. Es fehlte ihr vielmehr, gleich allen übrigen, dem Orient entsprungenen älteren Kulturen, an innerer Kraft, um dauernd Neues aus sich hervorzubringen. So kam es, daß mit dem Nachlassen des arabischen Einflusses gegen das Ende des Mittelalters der Orient aufhörte, in der allgemeinen Geistesentwicklung eine Rolle zu spielen. Die Führung ging vielmehr um jenen Zeitpunkt auf das Abendland mit seinen in Italien, Deutschland, England und Frankreich nach der Völkerwanderung seßhaft gewordenen Bewohnern germanischer Abstammung über.

10. Die Wissenschaften unter dem Einfluß der christlich-germanischen Kultur.

Während die arabische Wissenschaft und Literatur vom 9. bis zum 12. Jahrhundert einen fast ununterbrochenen Aufschwung nahm, finden wir während dieses Zeitraums im Abendlande nur unbedeutende Reste einer früheren Epoche und nur selten neue verheissungsvolle Ansätze. Was dort an Kenntnissen und an Kunstübung vorhanden war, kann in der Hauptsache nur als ein Überbleibsel der römischen Kulturwelt gelten, dem die germanischen Völker zunächst wenig hinzuzufügen wußten. Kennzeichnend für diese gesamte Periode in der Entwicklung des westlichen Europas ist das Übergewicht der religiösen Vorstellungen auf geistigem Gebiete und dasjenige der Kirche im gesamten öffentlichen Leben gegenüber allen anderen Regungen und Institutionen. Alle Wissenschaften sollten zur Erhöhung der Ehre Gottes beitragen. In Wahrheit dienten sie der Kirche und ihren Machthabern. Die sieben freien Künste oder das Trivium und das Quadrivium umfaßten die Summe des damaligen gelehrten Wissens unter jenem einen und einzigen Gesichtspunkt. Grammatik trieb man, um die Kirchensprache zu verstehen, Rhetorik, um sie anwenden zu können. Die Arithmetik offenbarte in mystischer Deutung die Geheimnisse der Zahlen. Die Hauptaufgabe der Astronomie bestand darin, den kirchlichen Kalender festzustellen. Auch die unter den sieben freien Künsten aufgeführte Musik verleugnete nicht ihren kirchlichen Charakter. Erst nach und nach begann, von den Arabern angefacht, ein wissenschaftlicher Geist sich in den nördlichen Ländern Europas auszubreiten. Die Elemente der Kultur, welche die Römer nach Frankreich, England und Deutschland gebracht hatten, waren durch die Ereignisse der Völkerwanderung zum größten Teile vernichtet worden. Als nach der Beendigung der Wanderungen in Deutschland und im nördlichen Gallien das Reich der Franken entstand und die Ausbreitung des Christentums durch diese politische Schöpfung sehr gefördert wurde, befanden sich die genannten Länder daher wieder im Zustande tiefer Unkultur. Der Gefahr einer Zersplitterung entging das neue Reich

dadurch, daß es in die Hände der Pippiniden gelangte. Diese setzten der Überschwemmung Westeuropas durch die Araber einen Damm entgegen und begründeten eine christlich-germanische Kultur in ihrem, sich immer gewaltiger ausdehnenden Reiche. Durch das tatkräftige, persönliche Interesse, das Karl der Große trotz seiner zahlreichen Kriege für die Wissenschaft bekundete, kam die geistige Entwicklung des Abendlandes in etwas schnelleren Fluß. Insbesondere scheint sich nach der Eroberung Italiens in dem Kaiser der Wunsch geregt zu haben, seinem eigenen Lande literarische Hilfsmittel zuzuführen und dadurch das Wissen zu fördern. Auch wurde die gelehrte Bildung in Deutschland während jenes Zeitalters von Britannien her günstig beeinflußt. Gregor der Große hatte um 600 nach diesem entlegenen Lande eine Anzahl Benediktinermönche gesandt, und diese hatten dort durch Urbarmachen des Bodens und Milderung der Sitten eine große Kulturaufgabe gelöst, daneben aber auch die Pflege der Wissenschaften nicht verabsäumt. Nachdem diese Mönche sich auf solche Weise im nördlichen Europa einen Stützpunkt geschaffen, traten sie belehrend und bekehrend unter den germanischen Stämmen Mitteleuropas auf. Der hervorragendste unter ihnen war Winfried oder Bonifazius[1]). Seine Schüler gründeten die Klosterschule zu Fulda. Ein anderer britischer Mönch, Alcuin, unterwies den Kaiser in gelehrten Dingen. Und so kam es, daß dieser, von dem günstigen Einfluß der Mönche auf die besiegten Völker überzeugt, die Wirksamkeit dieser Männer nach Kräften förderte. Gelehrte Ausländer wurden an den Hof gezogen und eine Art Akademie gedildet, die indessen fast ausschließlich aus Briten bestand. Die Schulen sollten nach der Absicht Karls nicht ausschließlich der Erziehung der Geistlichen dienen, sondern Bildung in weitere Kreise des Volkes tragen. Den Gedanken, allgemeine Volksschulen zu gründen, hat der Kaiser indessen noch nicht gehegt. Die Klosterschulen zu Fulda, zu St. Gallen und Corvey wurden zu wissenschaftlichen Pflanzstätten ihrer Zeit und ihres Landes. Der gelehrte Leiter der ersteren, Rhabanus Maurus, welcher den Ehrennamen primus Germaniae praeceptor erhielt, hinterließ ein Sammelwerk[2]), das unter anderem einen Abriß der damaligen Naturkunde bietet. Man erkennt, daß dieses Wissen weit geringer war als dasjenige des Altertums. Der Abriß des Rhabanus Maurus enthält nämlich nichts Eigenes, sondern fußt

[1]) Er wurde 754 in Friesland erschlagen und in Fulda beigesetzt.
[2]) De Universo libri. XXII.

auf den Schriften der Alten, deren Inhalt in verdorbener Darstellung wiedergegeben wird.

Sein Werk „De Universo“ verfaßte Rhabanus Maurus in der Absicht, wie er sagt, nach Art der Alten über die Natur der Dinge und den Ursprung ihrer Benennung zu schreiben. Daraus wird die vorwiegend grammatisch-philologische Art der Behandlung, die nicht nur seinen Vorgängern anhaftete, sondern bis in die neuere Zeit hinein überwog, erklärlich. Dadurch, daß Rhabanus Maurus ferner alle Dinge in Beziehung zur biblischen Überlieferung brachte, kam in sein Werk noch jener mystisch-allegorische Zug, der fast alle Schriften des Mittelalters kennzeichnet. Die erste Hälfte handelt von Gott, den Engeln, vom christlichen Leben und Gebräuchen. Im zweiten Teile ist von der Astronomie, der Geographie, der Medizin und anderen Wissenschaften die Rede. Ein Buch handelt in neun Kapiteln vom Ackerbau, vom Getreide, von den Hülsenfrüchten, vom Weinstock, von den Bäumen, von den aromatischen Kräutern und vom Gemüse. Es sind im ganzen etwa hundert Pflanzen, die nach ihrem Vorkommen und ihren Eigenschaften behandelt werden.

Ein Seitenstück zu diesem botanischen Buche bildet Karls des Großen Capitulare de villis et cortis imperialibus, eine ausführliche Verordnung über die Verwaltung der kaiserlichen Güter. Es finden sich darin die Pflanzen verzeichnet, die in den Gärten des Kaisers gezogen werden sollten. Das Kapitulare über die Villen [1]) ist für den Historiker die wichtigste Quelle für die agrarischen Verhältnisse der Karolingischen Zeit geworden.

Vorgeschrieben war z. B. der Bau von Krapp und Waid zum Färben, sowie der Anbau der Kardendistel, die bei der Bereitung des Tuches benutzt wurde. An Bäumen sollten die kaiserlichen Domänen neben Apfel-, Birn- und Kirschbäumen auch Kastanien, Pfirsiche, Mandel- und Maulbeerbäume, den Lorbeer und den Nußbaum ziehen. Als nach Karls des Großen Tode das Frankenreich zerfiel und Kriege ohne Ende zwischen den neu entstandenen Reichen, sowie Fehden im Innern und zur Abwehr von außen herandrängender Feinde herrschten, wurden die geringen wissenschaftlichen Ansätze, welche die Regierung des großen Kaisers gezeitigt hatte, zum größten Teile wieder vernichtet. Vieles ist gänzlich verloren gegangen, anderes besaß nicht mehr die Kraft zu weiterer Entfaltung, weil das geistige Interesse durch den Wetteifer, der zwischen der Theologie und der scholastischen Philosophie entbrannte, völlig in Anspruch genommen wurde.

1) Es wurde im Jahre 805 erlassen.

Erwähnenswert ist für die Zeit zwischen Karl dem Großen und Albertus Magnus Hildegard, die Äbtissin des Klosters zu Disibodenberg. Sie ist die Verfasserin von vier Büchern „Physica". Ihr Werk enthält nicht nur die ersten rohen Anfänge vaterländischer Tier- und Pflanzenkunde, sondern es bietet überraschenderweise eine, nicht aus Dioskorides geschöpfte, sondern aus der Überlieferung des Volkes hervorgegangene Heilmittellehre.

Auf das Zeitalter Karls des Großen folgte eine Periode, in welcher das Interesse des Abendlandes fast ausschließlich in der Bekämpfung des Orientes aufging. Dann erst setzte eine stetige Aufwärtsbewegung ein. Zwar hatten die Kreuzzüge dem westlichen Europa manche Wunde geschlagen; sie hatten aber auch den Gesichtskreis in ähnlicher Weise erweitert, wie es zur Zeit des Griechentums die Züge Alexanders bewirkt hatten. Waren ferner in den vorhergehenden Jahrhunderten geistige Anregungen besonders von den mohammedanischen Bewohnern Spaniens ausgegangen, so kam man jetzt mit der während des Stillstandes der germanischen Völker ihre Blütezeit erlebenden islamitischen Kultur auch vom südlichen Italien her in Berührung. Dieser Einfluß erstreckte sich nicht nur auf den Norden Italiens, sondern er wurde, zum Teil infolge der Romfahrten, auch auf den nördlich der Alpen gelegenen Teil Europas ausgedehnt. Auch von Byzanz und dem Orient selbst gelangten mannigfache Anregungen nach Mittel- und Westeuropa.

Wir haben im vorhergehenden Abschnitt erfahren, daß die Araber die von den Griechen und den Indern empfangenen Kenntnisse nicht nur zu erhalten, sondern auch weiterzuentwickeln und mit ihren eigenen Geistesschöpfungen zu einer gewaltigen Literatur zu verschmelzen verstanden. Diese arabische Literatur war während des späteren Mittelalters, wenn auch meist in lateinischer Übersetzung, im Abendlande die herrschende. Da der Hauptgegenstand der arabischen oder aus arabischen Quellen entstandenen Schriften neben der Medizin die Astronomie und die Mathematik war, so ist es begreiflich, daß sich zu Beginn der Renaissance das Interesse des Abendlandes zunächst diesen Wissenschaften zuwandte. Die erste Bekanntschaft mit den von den Arabern gehüteten Geistesschätzen machte das Abendland in dem seit 711 im mohammedanischen Besitze befindlichen Spanien. Dorthin strömten aus Frankreich, England und Mitteleuropa wissensdurstige Männer in großer Zahl, um die erworbenen Kenntnisse später ihrer Heimat zuzuführen. Unter diesen Männern seien Gerbert, der spätere Papst Sylvester der Zweite und Gerhard von Cremona genannt.

Durch Gerbert (940—1003) und seine Schüler lernte man unsere heutigen, noch jetzt arabisch genannten Ziffern kennen[1]). Gerhard von Cremona (1114—1187) lieferte die erste Übersetzung des Almagest, jenes von Ptolemäos verfaßten Hauptwerks der Astronomie, welches dieser Wissenschaft im Altertum und im Mittelalter ihre Bahnen vorgezeichnet hat. Auch die Elemente Euklids wurden aus dem Arabischen übersetzt[2]). Das mathematische Werk Ben Musas und die arabischen Schriften, die sich auf Aristoteles bezogen, wurden durch Johannes von Sevilla (um 1150) in lateinischer Übersetzung den Abendländern zugänglich gemacht. Von der aristotelischen Philosophie empfing man allerdings nur einen höchst verderbten Abklatsch. Dies wird begreiflich, wenn man bedenkt, daß das griechische Original zuerst ins Arabische, dann ins Castilianische und endlich ins Lateinische übersetzt, und daß ferner manche schwierige Stelle nicht verstanden und infolgedessen unrichtig wiedergegeben wurde.

Nach Italien gelangten die mathematischen Kenntnisse der Araber um das Jahr 1200 durch Leonardo von Pisa[3]). Die Geschichte dieses Mannes und seines mathematischen Werkes zeigt uns, wie eng die Entwicklung und die Ausbreitung der Wissenschaften mit den jeweiligen Kulturzuständen verbunden sind. Leonardos Vaterstadt Pisa war um 1200, infolge der im Zeitalter der Kreuzzüge entstandenen Beziehungen zum Orient, die mächtigste Handelsstadt Italiens geworden. Ihr Reichtum hatte mitgewirkt, um die ersten, noch heute jeden Besucher entzückenden Schöpfungen der neueren italienischen Kunst entstehen zu lassen. Der Handel entsprang praktischen Bedürfnissen und verfolgte materielle Ziele. Er suchte daher jeden geistigen Fortschritt, insbesondere auf dem Gebiete der Mathematik, unmittelbar nutzbringend zu machen. Zu diesem Zwecke studierte Leonardo, der Sohn eines Pisaner Handelsherrn, auf seinen Geschäftsreisen, die ihn nach Sizilien, Griechenland, Ägypten und Syrien führten, die in jenen Ländern gebräuchlichen Rechnungsweisen. So entstand um 1200 das mathematische Hauptwerk des Mittelalters Leonardos Liber abaci, mit welchem die Geschichte der Mathematik wohl einen neuen Zeitabschnitt beginnen läßt[4]).

1) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. I, 13.

2) Durch den englischen Mönch Atelhart um 1120.

3) Auch Fibonacci oder Bonacci genannt. Fibonacci bedeutet Sohn Bonaccis (filius Bonacci).

4) Cantor, II. S. 3.

In der Einleitung sagt Leonardo, die früheren Methoden seien ihm, verglichen mit der Methode der Inder, als ebensoviele Irrtümer erschienen. Er habe daher das indische Verfahren seinem Werke zugrunde gelegt, habe eigenes hinzugefügt, auch manches aus der geometrischen Kunst des Euklid verwendet, damit das Geschlecht der Lateiner hinfort nicht mehr unwissend in diesen Dingen befunden werde[1]).

Die ersten Abschnitte handeln von den Grundoperationen mit ganzen Zahlen und Brüchen. Zum ersten Male begegnet uns der Bruchstrich, der auch als Zeichen für die Division gebraucht wird. An die ägyptische Bruchrechnung erinnert die im Liber abaci vorkommende Zerlegung von Brüchen in eine Summe von Stammbrüchen. Die weiteren Abschnitte befassen sich mit Regel de tri, Gesellschafts- und Mischungsrechnung, Potenzen und Wurzeln und endlich mit den Aufgaben der „Algebra und Almuchabala", d. h. der Lehre von den Gleichungen, die im engen Anschluß an Ben Musa behandelt werden. Im einzelnen enthält das Buch Leonardos aber auch manches, was dem Verfasser angehört; vor allem aber ist dieser Herr über den von ihm behandelten Stoff, den er in eigener, sicherer Auffassung seinen Landsleuten übermittelt.

Gleichzeitig mit den mathematischen wurden auch naturwissenschaftliche Kenntnisse von den Arabern dem Abendlande übermittelt. Infolgedessen treten hier zu Beginn des 12. Jahrhunderts Männer auf, die sich der Alchemie und der von den Arabern besonders gepflegten Optik widmeten. Unter ihnen sind vor allem Albertus Magnus und Roger Bacon zu nennen, mit denen wir uns noch eingehend beschäftigen werden. Nach dem Vorbild der Araber wurde ferner die Medizin im 12. Jahrhundert in Salerno wieder zu einer Wissenschaft erhoben, während die Behandlung der Krankheiten in den christlichen Ländern bis dahin vorzugsweise eine Domäne des frommen Aberglaubens gewesen war.

Vergegenwärtigen wir uns, daß um 1200 der große, von den älteren Kulturvölkern geschaffene Schatz von Anregungen und Keimen, die nur der Weiterentwicklung harrten, den romanischen und den germanischen Völkern mit der Verbreitung der arabischen Literatur zugänglich gemacht wurde, so läßt es sich begreifen, daß dieser Zeitpunkt von der neueren historischen Forschung wohl als ein Markstein in der Geschichte der Wissenschaften hingestellt worden ist[2]).

[1]) Eine ausführliche Inhaltsangabe des Liber abaci gibt Cantor in seiner Geschichte der Mathematik. II. 7—32.

[2]) So von Cantor in seiner großen Geschichte der Mathematik.

Von nicht geringer Bedeutung war auch die Erweiterung des geographischen Gesichtskreises durch die Reisen[1]) des Venezianers Marco Polo. Marco Polo gelangte bis nach Peking und im Süden bis nach Sumatra. Er brachte viele Jahre (1275—1292) im Dienste eines mongolischen Fürsten zu und richtete seine Aufmerksamkeit auf alles, was ihm in den fremden Ländern begegnete. Seine Mitteilungen erstrecken sich auf sämtliche drei Naturreiche. Er erwähnt zahlreiche Edelsteine und Halbedelsteine. Durch ihn wurde erst allgemeiner bekannt, daß sich die Steinkohle als Brennstoff verwenden läßt. Auch auf das Petroleum, die Tusche, das Porzellan lenkte er die Aufmerksamkeit. Aus dem Pflanzenreich erwähnt Marco Polo zahlreiche Drogen, Arzneimittel, aromatische Stoffe, Farbhölzer, den Indigo usw. Die Verarbeitung des Bambus, der Baumwolle und der Seide werden geschildert. Zahlreich sind auch die Mitteilungen über die Fauna des ganzen asiatischen Kontinents. Die Angaben erstrecken sich auf das Zebu, den Yack, verschiedene Pferderassen, Elefant, Rhinozeros, Moschustier, menschenähnliche Affen, Tiger, Schlangen usw. Von den Angaben über die Vogelwelt interessiert besonders die Erwähnung eines Riesenvogels auf Madagaskar, dessen Flügel sechszehn Schritt gespannt haben sollen[2]).

Von großer Bedeutung für die Entwicklung der Wissenschaften in dieser wie in jeder anderen Periode war auch das Emporblühen des Handels. Der Handel hob sich insbesondere durch die enge Fühlung, in welche Italien, Deutschland und Frankreich sowohl unter sich wie mit dem Morgenlande traten. Mit dem Handel blühte das Städtewesen empor. Der in den Städten sich mehrende Wohlstand weckte die Teilnahme weiterer Kreise an geistigen Dingen. Reiche Städte haben auch stets die Wissenschaften im wohlverstandenen eigenen Interesse begünstigt. Gegen den Ausgang des Mittelalters entwickelten sich solche Städte besonders in Italien, wo in erster Linie Venedig, Pisa, Florenz und Genua zu nennen

---

1) Die Reisen des Venezianers Marco Polo im dreizehnten Jahrhundert. Zum ersten Male vollständig nach den besten Angaben deutsch mit einem Kommentar von Aug. Brinck, Leipzig 1845.

2) Reste und Eier riesiger, ausgestorbener Vögel sind bekanntlich später in Madagaskar gefunden worden (Aepyornis). Einen Auszug über die zoologischen Angaben Marco Polos findet sich in Carus, Geschichte der Zoologie. München 1872. S. 197 u. f.

Unter dem Titel „Chemisches bei Marco Polo" hat E. v. Lippmann eine Abhandlung in der Zeitschrift für angewandte Chemie veröffentlicht. 1908. 34. Heft.

sind. Sie besaßen staatliche Macht und führten, wenn auch unter gegenseitiger Befehdung, durch das Streben, ihren Einfluß weithin auszudehnen, zur regsten Entfaltung aller gewerblichen, kommerziellen und künstlerischen Tätigkeit. In hoher Blüte stand z. B. die Kunst Metalle zu gießen und Glas zu formen. Etwas später entstanden im Norden städtische Gemeinwesen, die nicht nur Handelsemporien, sondern gleichzeitig die Pflegestätten eines ganz neuen Geistes waren. Die gewaltige Hansa und der rheinische Städtebund sind hier vor allem zu nennen. „Es ist", sagt Ranke, „eine prächtige, lebensvolle Entwicklung, die sich damit anbahnt. Die Städte bilden eine Weltmacht, an welche die bürgerliche Freiheit und die großen Staatsbildungen anknüpfen"[1]). Als fernere Kulturelemente, die für die gesamte Entwicklung von Bedeutung waren, sind das Schwinden der Sklaverei, der Übergang von der Natural- zur Geldwirtschaft[2]) und endlich, vor allem für das Gebiet der Geisteskultur, die Einführung der Papiererzeugung in Europa zu nennen, alles Geschehnisse des 13. Jahrhunderts, in welchem somit eine ganze Reihe von Grundlagen für die gegen das Ende des Mittelalters vor sich gehende Neugestaltung des staatlichen und geistigen Lebens geschaffen wurden. Gleichzeitig begegnen uns der erste große Dichter der Neuzeit in Dante und die ersten vorurteilsfreien Denker des christlichen Abendlandes in Albertus Magnus und Roger Bacon, deren Leben und Wirken uns in den nächsten Abschnitten am besten in die Denkweise und die wissenschaftlichen Bemühungen dieses Zeitraumes einführen werden. Auch die bildnerische Kunst erlebte im 13. Jahrhundert ihre Wiedergeburt. Zunächst geschah dies auf dem Boden Italiens. Es braucht nur an die Schöpfungen Niccolo Pisanos und Giottos erinnert zu werden, deren Erzeugnisse auf dem Gebiete der Bildhauerkunst und der Malerei noch heute in ergreifender Weise Zeugnis von der Gewalt jener künstlerischen Regungen des 13. Jahrhunderts ablegen, die nicht minder in den zahlreichen gotischen Domen jenes Zeitraums ihren unvergänglichen Ausdruck fanden.

---

[1]) Die Gründung der Städte bedeutet eine der fruchtbarsten Errungenschaften des Mittelalters. Dadurch erfolgte eine Loslösung der Arbeit von der Scholle. Vor der Entwicklung der Städtefreiheiten besaß im Mittelalter niemand Rechte und ausgiebige Lebensquellen, der nicht mit der Scholle verknüpft war. Siehe Grupp im 2. Bande seiner Kulturgeschichte des Mittelalters.

[2]) Der älteste bekannt gewordene Geldwechsel stammt aus dem Jahre 1207. Siehe Grupp, Kulturgeschichte des Mittelalters. 1894. Bd. II. S. 56.

Die Schwelle des 13. Jahrhunderts bedeutet nach Chamberlains Ausdruck den Zeitpunkt, an welchem „die Menschheit unter der Führung der Germanen" ein neues geistiges Leben begann. Aus diesem Grunde hält dieser Verherrlicher der Kulturmission des Germanentums es für angezeigt, das Jahr 1200 als die Grenzscheide zwischen dem Mittelalter und der neueren Zeit zu betrachten. Jedenfalls erscheint es berechtigt, den Beginn der Renaissance bis an die Schwelle des 13. Jahrhunderts zurückzuverlegen.

Auch auf dem Gebiete des Bildungswesens fand die neue Zeit ihren neuen Ausdruck. Hochschulen nach dem Muster der arabischen gelehrten Schulen entstanden in Neapel, Salerno und Bologna, darauf in Paris, Oxford und Cambridge. Im 14. Jahrhundert folgte Deutschland mit der Gründung der Universitäten zu Prag, Wien und Heidelberg. Zwar waren diese Orte anfangs vorwiegend Stätten scholastischen Gezänks. Die Gelehrten waren jedoch vom klösterlichen Zwange befreit worden, ein Umstand, der für die Folge von großer Bedeutung war. Um der Beengung zu entgehen welche die Kirche während des Mittelalters jeder wissenschaftlichen Betätigung auferlegte, erfand man den Satz von der zwiefachen Wahrheit. Man verstand darunter die Lehre, es könne etwas in kirchlichen Dingen als wahr gelten, was in der Wissenschaft als falsch bewiesen sei. Dieselbe Person durfte somit, je nachdem sie sich auf den Standpunkt des Philosophen oder des Theologen stellte, ein und dieselbe Ansicht für richtig halten und sie in demselben Atemzuge verdammen.

Man darf dieses auf den ersten Blick ganz unmoralisch erscheinende Verhalten nicht allzu sehr verurteilen. Gilt doch auch heute noch für manchen der Satz, daß Glauben und Wissen als unvereinbare Gebiete scharf zu trennen sind, während man sich auf der anderen Seite bemüht, beide miteinander zu versöhnen. Man muß daher den zuerst in Paris und in Padua aufkommenden Satz von der zwiefachen Wahrheit als den ersten Versuch der Forschung ansehen, sich aus den Banden der Kirche zu befreien. Diese Lehre ist, sagt einer ihrer Beurteiler[1]), „ein Denkmal des forschenden Geistes, sich ein freies, weites Gebiet zu verschaffen". Insbesondere gelangte der Geist der wiederauflebenden Wissen-

---

1) M. Maywald, Die Lehre von der zwiefachen Wahrheit, ein Betrag zur Geschichte der scholastischen Philosophie. Berlin 1861. Siehe auch J. Tyndall, Religion und Wissenschaft, sowie Langes Geschichte des Materialismus.

schaften in zwei Männern zum Ausdruck, deren Lebensumstände und Verdienste uns zunächst beschäftigen sollen. Es waren dies Albertus Magnus in Deutschland und sein Zeitgenosse Roger Bacon in England.

Beide Männer gehören dem 13. Jahrhundert an. Es war die Zeit des großen Staufenkaisers Friedrichs des Zweiten und seines vergeblichen Ringens mit dem Papsttum. In das 13. Jahrhundert fallen einerseits die letzten Kreuzzüge und das Umsichgreifen der von fanatischen Mönchen geübten Ketzergerichte, während auf der anderen Seite Handel und Gewerbe, sowie die Schulen aufzublühen begannen. Auch auf dem Gebiete des geistigen Werdens war diese Zeit erfüllt von Gegensätzen. Bis gegen das 13. Jahrhundert hatte im Mittelalter ausschließlich die Macht der Kirche und ihrer Dogmen gegolten. Die philosophischen Schriften des Altertums, insbesondere die Logik des Aristoteles, hatten Geltung, weil sie spitzfindigen, theologischen Streitigkeiten zu dienen vermochten. Was indessen die naturwissenschaftlichen Werke des Aristoteles anbetraf, so war fast jede Erinnerung daran verloren gegangen. Auch die Auffassung von der Natur war zu einem Zerrbilde geworden. Hatten die älteren Kirchenväter sie zum Teil noch als einen Spiegel göttlicher Weisheit angesehen, so hatte später eine geradezu verächtliche Vorstellung von der Natur Platz gegriffen. Die Natur erschien dem Menschen des eigentlichen Mittelalters im trüben Wiederschein einer Teufelslehre, geeignet, ihn mit Sinnenlust zu umstricken und von seiner, im Überirdischen ruhenden Bestimmung abzulenken.

Man kann sich vorstellen, welchen Eindruck auf ein so geartetes Geschlecht das überraschend schnell erfolgende Bekanntwerden der naturgeschichtlichen Schriften des Aristoteles zu Beginn des 13. Jahrhunderts ausüben mußte. In lateinischer, teils aus dem Arabischen, teils aus griechischen Originalen geschöpfter Übersetzung, verbreiteten sie sich bald über das ganze Abendland. Mit den griechischen Originalen war man im Verlauf der späteren Kreuzzüge in Konstantinopel und an anderen Orten des Orients bekannt geworden[1]. Wie ganz anders stellte sich in diesen, die Gemüter wie eine neue Offenbarung ergreifenden Werken die Welt dar. Sie war hier nicht die Inkarnation des Bösen und die Quelle der Verdammnis, sondern „ein wunderbar harmonisches, ineinander

[1]) Jourdain, Geschichte der aristotelischen Schriften im Mittelalter' übersetzt von Ad. Stahr, Halle 1831.

greifendes Geflecht vernünftiger Zwecke und Mittel"[1]), deren Erforschung als die würdigste Aufgabe des denkenden Menschen hingestellt wurde. Daß die Kirche der geschilderten Bewegung der Geister gegenüber nicht gleichgültig blieb, läßt sich denken. So verfügte sie z. B. im Jahre 1209 in Paris, daß bei Strafe der Exkommunikation weder die naturwissenschaftlichen Schriften des Aristoteles, noch die Kommentare dazu, sei es öffentlich, sei es insgeheim, gelesen werden dürften.

Ein Mann war es vor allem, in welchem die Naturphilosophie des Aristoteles einen begeisterten Vertreter fand. Das war Albertus Magnus. Das Bild seines Lebens und Wirkens wird uns deshalb am besten in den geschilderten Zeitraum zu versetzen vermögen.

Albertus Magnus, dessen eigentlicher Name Albert von Bollstatt lautet, wurde gegen den Ausgang des 12. Jahrhunderts in einem schwäbischen Städtchen geboren[2]). Er empfing seine Vorbildung in Padua. Später lehrte er an der Dominikanerschule zu Cöln, zeitweilig auch an der Universität zu Paris, wo sein Orden einige Lehrstühle besetzen durfte. In Paris fand er einen solchen Zulauf, daß kein Gebäude die Schar seiner Hörer zu fassen vermochte. An Wissensdrang fehlte es im 13. Jahrhundert also nicht, wohl aber an einem würdigen Gegenstand zur Befriedigung dieses Dranges. Handelte es sich doch nur um Schriftwerke, die durch Übersetzungen bekannt wurden. Ihr Inhalt war es, welcher das damalige Wissen ausmachte. Jede selbständige Regung wurde durch einen Autoritätsglauben niedergehalten, wie ihn kein Zeitalter in solchem Grade wieder besessen hat. Verfolgung und Tod trafen denjenigen, der sich gegen diesen Autoritätsglauben, der alles mit Blindheit geschlagen zu haben schien, auflehnte. Man darf daher auch von Albertus Magnus nicht allzu viel Eigenes erwarten, wenn er auch zu den hervorragendsten Männern gehört, die uns in der Geschichte des Mittelalters begegnen. Ihm ist es vor allem zu verdanken, daß man auf dem Gebiete der Naturwissenschaften wieder an die Schriften des Altertums anknüpfte. Und zwar begann man auf den griechischen Texten zu fußen, die zum Teil schon um diese Zeit von Konstantinopel aus in das Abendland gelangten, während man vorher die arabischen Bearbeitungen in das Lateinische übertragen hatte, eine zwiefache Hinüberleitung

1) Meyer, Geschichte der Botanik. IV. 8.

2) In Lauingen. 1193.

durch welche der Inhalt entstellt und unrichtig übermittelt worden war.

Was man vor Albertus Magnus an Kenntnissen über die Tier- und Pflanzenwelt besaß, verdiente kaum noch den Namen einer Zoologie und Botanik. Einiges Interesse brachte man zwar den in der Bibel erwähnten Geschöpfen entgegen, welche in dem „Physiologus", einem sehr verbreiteten, in vielen Bearbeitungen vorhandenen Buche, behandelt wurden[1]. Es enthielt indessen die unglaublichsten Fabeln, wie die später oft wiederkehrende Erzählung, daß der auf dem Wasser ruhende Walfisch von den Schiffern für eine Insel gehalten wird, an welcher sie ihr Schiff befestigen. Auf der vermeintlichen Insel wird dann ein Feuer angezündet. Das Tier fühlt die Glut, taucht unter und zieht Schiff und Menschen in die Tiefe.

Trotzdem erfüllte der Physiologus fast 1000 Jahre die Rolle eines elementaren zoologischen Lehrbuches[2]. Wir wollen daher seinem Inhalt einige weitere Zeilen widmen. Berücksichtigt sind besonders Säugetiere und Vögel, ferner einige Reptilien und Amphibien und nur ein Geschöpf aus der Reihe der Gliedertiere, nämlich die Ameise. An Pflanzen kommen der Feigenbaum, der Schierling und die Nießwurz in Betracht. Auch einige Mineralien werden erwähnt; es sind der Diamant, der Achat, der „indische Stein", welcher die Wassersucht heilen sollte, und die feuerbringenden Steine.

Noch dürftiger erscheint dieser Inhalt, wenn man bedenkt, daß der Physiologus nicht etwa eine einigermaßen vollständige Schilderung der erwähnten Geschöpfe enthält, sondern meist nur Hinweise auf Bibelstellen, einzelne Züge aus der Lebensweise, Erzählungen und Fabeln. So wird vom Panther erzählt, daß er bunt sei, nach der Sättigung drei Tage schlafe, dann mit Gebrüll erwache und einen so angenehmen Geruch verbreite, daß alle Tiere zu ihm kämen; nur der Drache sei sein Feind. Der Prophet Hosea sage: Ich werde wie ein Löwe sein dem Hause Juda und wie ein Panther dem Hause Ephraim usw. An die meisten Tierfabeln werden naive moralische Bemerkungen angeknüpft. Von den

---

1) Siehe auch Peters, der griechische Physiologus und seine orientalischen Übersetzungen, Berlin 1898. Das genannte Werk enthält auch eine Geschichte der merkwürdigen Schrift.

2) Goldstaub, M., Der Physiologus und seine Weiterbildung, besonders in der lateinischen und byzantinischen Literatur. Philologus, 1901. Supplementband 8, 3.

Affen heißt es, man fange sie, indem man sie veranlasse, sich die Augen mit Leim zu verschmieren. So jage uns der Teufel mit dem Leim der Sünde. Wie der Biber sich die Hoden abbeiße, wenn man ihn verfolge, so solle der Mensch seine bösen Leidenschaften austilgen usw. Auch bloße Fabelwesen, wie die Sirenen und das in der Bibel mehrfach erwähnte Einhorn, bilden einen Gegenstand verschiedener Ausgaben des Physiologus. Welch ungeheurer Abstand somit zwischen dem mittelalterlich-kirchlichen Naturwissen und demjenigen der Blütezeit des griechischen Geisteslebens bestand, braucht nach dieser Probe nicht weiter ausgeführt zu werden.

Der älteste Physiologus entstand im 2. Jahrhundert n. Chr. in Alexandrien. Auf dieser griechischen Schrift beruhen eine Anzahl orientalischer Bearbeitungen der biblischen Zoologie. Albertus Magnus schöpfte aus einem lateinischen Physiologus, der auch ins Althochdeutsche und andere nordische Sprachen übersetzt wurde. In erster Linie war aber das zoologische Werk Alberts, das in 26 Bücher zerfällt, eine Wiedergabe der zoologischen Schriften des Aristoteles. Doch verraten insbesondere die letzten Bücher eine größere Selbständigkeit. Auch die Naturgeschichte des gleichfalls dem 13. Jahrhundert angehörenden Thomas von Cantimpré hat Albert benutzt, doch ist dasjenige, was er selbst uns bietet, weit durchgearbeiteter. Daß sich bei ihm noch die alten anatomischen Unrichtigkeiten des Aristoteles finden, darf uns nicht Wunder nehmen. So nennt er gleichfalls die Sehnen Nerven, und legt ihnen die eigentliche bewegende Kraft bei. Er läßt sie aus dem Herzen entspringen, während er von den eigentlichen Nerven noch keine Vorstellung hat[1]).

Albertus Magnus hat eine sehr umfangreiche literarische Tätigkeit entfaltet[2]). Eine allerdings nur mangelhafte Ausgabe seiner sämtlichen Werke rührt von Jammy her; sie erschien in 21 Foliobänden im Jahre 1651. Der 2., 5. und 6. Band enthalten die naturwissenschaftlichen Schriften. Der 2. Band enthält neben einer Wiedergabe der aristotelischen Physik die Grundzüge der Himmelskunde und fünf Bücher über die Mineralien. Bemerkens-

[1]) Carus, Geschichte der Zoologie. S. 231.

[2]) Eingehender wird Albertus Magnus gewürdigt in E. Meyer, Geschichte der Botanik. IV. S. 9—84. Vergl. auch Fellner, Albertus Magnus als Botaniker. Wien 1881.

Eine kritische Ausgabe der botanischen Schriften rührt von E. Meyer, und K. Jessen her. Alberti Magni de vegetabilibus libri VII. Berlin 1867.

wert ist, daß Albert die Milchstraße für eine Anhäufung kleiner Sterne hielt, sowie seine Meinung, das Erscheinen der Kometen könne nicht mit den Geschicken einzelner Menschen verknüpft sein. Der 5. Band enthält besonders Geographisches, sowie die sieben Bücher über die Pflanzen. Hervorgehoben sei eine Äußerung über die Antipoden. Nur rohe Unwissenheit, meint Albertus, könne behaupten, daß diejenigen fallen müßten, die uns die Füße zukehrten. Der 6. Band der Gesamtausgabe endlich umfaßt die 26 zoologischen Bücher.

Das Verdienst Alberts besteht darin, daß er über alle Dinge, über die er aristotelische Schriften besaß, ausführlich schrieb. Dabei leiteten ihn einerseits offener Sinn und liebevolle Hingabe an die Natur. Andererseits beseelte ihn das Streben, die Naturauffassung des Altertums mit den Lehren der katholischen Kirche in Einklang zu bringen. Aus dieser Abhängigkeit sich zur vollen Freiheit des Denkens durchzuringen, war ihm nicht gegeben. Den Vortrag der aristotelischen Lehren wußte Albertus mit seinen eigenen Ansichten in der Weise zu vereinigen, daß er zunächst dem Aristoteles folgt und dann jedesmal hinzufügt, er wolle eine Disgression einschalten. Als eine solche ist das ganze zweite Buch der Botanik zu betrachten[1]. Es beginnt mit den Worten: „Das alles — nämlich den Inhalt des ersten Buches — haben die alten Naturforscher begründet. Doch scheint das etwas verworren zu sein. Ich werde daher von neuem beginnen und die allgemeine Botanik nach der Ordnung der Natur geben."

Daß Albertus auch auf anderen Gebieten nach Selbständigkeit strebte[2], bezeugen die Worte, mit denen er die spezielle Botanik einleitet. Sie lauten: ,,Was ich hier bringe, habe ich teils selbst erfahren, teils verdanke ich es Leuten, von denen ich überzeugt bin, daß sie nur das vorbringen, was sie selbst erfuhren." Bei dem Wissen von den Einzelwesen handele es sich allein um Erfahrung, da hier Vernunftschlüsse nicht möglich seien. Trotzdem finden sich, besonders unter den beschriebenen Tieren, dem Geist der Zeit entsprechend, gar manche alten Fabeln wieder.

Sein Werk über die Pflanzen schrieb Albert in Anlehnung an eine Schrift[3], welche damals für aristotelisch gehalten wurde. Es umfaßt sieben umfangreiche Bücher und gehört zu den be-

[1] H. Stadler, Albertus Magnus als selbständiger Naturforscher (Forschungen zur Geschichte Bayerns. Bd. 14. S. 95—114).

[2] H. Stadler, a. a. O.

[3] Des Nikolaus Damaskenos.

deutendsten älteren Schriften botanischen Inhalts. Von Aristoteles, dem Schöpfer der wissenschaftlichen Botanik, bis auf die Zeit Alberts des Großen war diese Wissenschaft immer tiefer gesunken; mit Albert erstand sie „wie der Phönix aus seiner Asche“[1]. Zuerst befaßt sich Albert mit den Grundzügen der allgemeinen Botanik. Insbesondere beschäftigt er sich mit der Frage, ob die Pflanze beseelt ist. Sie ist es, führt er aus, gleich jedem Körper, der sich aus sich selbst bewegt. Ohne jene Bewegung sei kein Wachstum, keine Ernährung und keine Fortpflanzung möglich. Auf diese Funktionen beschränke sich indes die Tätigkeit der Pflanzenseele. Diesem geringen Umfang ihrer Tätigkeit entspreche auch die geringe äußere Verschiedenheit der Pflanzenteile, sowie das Vermögen der Pflanze, aus jedem ihrer Teile wie aus dem Samen neues zu erzeugen.

Bemerkenswert sind auch die Äußerungen Alberts über den Schlaf der Pflanzen. Wenn die Pflanze während des Winters infolge der Kälte zusammengezogen und ihr Saft und ihre Wärme nach innen zurückgedrängt seien, so schlafe sie. Daß einige Pflanzen ihre Blüten abends zusammenlegen und bei Tagesanbruch wieder öffnen, wird auch als Schlaf gedeutet.

Bezüglich der Sexualität räumt Albert den Pflanzen nur eine sehr entfernte Ähnlichkeit mit den Tieren ein. Das Wachstum der Pflanzen, meint er im Hinblick auf die Eiche, die Zeder und andere Bäume, scheine wie das der Mineralien an kein bestimmtes Maß gebunden zu sein. Das Fehlen der Sinnes- und Bewegungsorgane, durch welche sich das höhere tierische Leben bekunde, sei der Grund, weshalb die Wurzel, der Mund der Pflanze, in die Erde gesenkt sei. Ströme die Nahrung nicht von selbst herbei, umgäbe sie die Wurzel nicht unablässig, so würde die Pflanze gar keine Nahrung zu sich nehmen können. Würde ferner die geringe Eigenwärme der Pflanze nicht von außen durch die Sonnenwärme unterstützt, so würde jene allein nicht hinreichen, den eingesogenen Nahrungsstoff zu verdauen und zum Wachstum und zur Fortpflanzung geeignet zu machen.

Da also die Pflanze die Nahrung auf weit einfachere Weise zu sich nimmt und in sich verteilt wie das Tier, so hat sie nach Albert weder Adern, noch einen Magen, sondern nur Poren, wie sie das Tier auch unsichtbar auf seiner ganzen Oberfläche besitze. Alberts Kenntnisse in der speziellen Botanik, die er im 6. Buche bekundet, sind nicht gering. Doch teilt er mit den Schriftstellern

[1] E. v. Meyer, Geschichte der Botanik. IV. 40.

des Altertums den Glauben an die Umwandlung der Arten. So sollen sich infolge des Alters oder infolge mehr oder weniger guter Nahrung die Getreidearten ineinander umwandeln können. Auch entständen durch die Fäulnis einer Pflanzenart andere Arten, so überziehe sich ein kränkelnder Baum mit Parasiten, namentlich mit Misteln.

Alberts Darstellung der allgemeinen Botanik ist der erste Versuch einer solchen. Denn was er in der Schrift des Nikolaos vorfand, hat sein Unternehmen eher ungünstig beeinflußt als gefördert. Es verstrichen Jahrhunderte, bevor ein zweites, dem seinigen vergleichbares Werk erschien. „Die Fehler des letzteren verschuldete sein Zeitalter, die Vorzüge gehören ihm allein an[1]). In seiner speziellen Botanik handelt Albert von den Bäumen und Sträuchern, den Stauden und Kräutern. Die Anordnung ist die alphabetische. Die Schärfe der Beobachtungen ist anzuerkennen. Beschreibungen von einer Genauigkeit, wie sie uns im Altertum nicht begegnet, widmete er z. B. der Esche und der Erle, dem Mohn, dem Borretsch und der Rose. Seit Albertus Magnus war man auch bestrebt, die von den Alten beschriebenen Pflanzen wieder aufzufinden. Dies Bemühen war jedoch wenig lohnend, da einmal die vorhandenen Beschreibungen meist nicht hinlänglich genau waren, um danach die Arten feststellen zu können, und da man ferner, ohne Berücksichtigung der geographischen Verbreitung, die Pflanzen Griechenlands und Kleinasiens in Mitteleuropa suchte. Immerhin war es ein großer Fortschritt, daß man sich mit den Naturkörpern wieder unmittelbarer zu beschäftigen begann. Die Wiederbelebung der beschreibenden Naturwissenschaften war in erster Linie die Folge eines solchen Bemühens. Dieses führte auch zur Anlegung von botanischen Gärten und zur Herausgabe von Kräuterbüchern, den ersten botanischen Dingen, die uns an der Schwelle der neueren Zeit begegnen.

Von der Zeit Alberts des Großen bis zur zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts waren die Fortschritte auf dem Gebiete der Botanik im übrigen nur gering[2]). Manche Nachricht über neue Pflanzen gelangte aus den durch die Kreuzzüge dem Abendlande erschlossenen Ländern nach Europa, jedoch ohne daß dadurch

[1]) Meyer, Geschichte der Botanik.

[2]) Auch nach Warburg (Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft 1901. S. 153) hat das Mittelalter weder für die wissenschaftliche, noch für die angewandte Botanik neue Bahnen erschlossen, wenn auch die Araber auf dem Gebiete der Heilmittellehre manche neue Tatsache fanden.

die wissenschaftliche Einsicht wesentlich gefördert worden wäre. Auch durch die Reisen Marco Polos in Ostasien erfuhr die spezielle Pflanzenkenntnis eine nicht unbeträchtliche Erweiterung, wenn es sich naturgemäß in den Mitteilungen dieses Mannes auch in erster Linie um solche Pflanzen handelte, welche für den Handel in Betracht kamen.

Wie die botanischen so enthalten auch die zoologischen Schriften Alberts zahlreiche Angaben über eigene Beobachtungen. Insbesondere gilt dies von der deutschen Tierwelt. Es finden sich z. B. recht gute Schilderungen des Maulwurfs, der Spitzmaus, des Eichhörnchens und des Igels. Erwähnung findet auch der Eisbär. Vom Walroß wird erzählt, daß es lange Eckzähne besitze und daß man seine Haut zu Riemen zerschneide, die in Deutsland in den Handel kämen. Ferner wird der Grönlandwal beschrieben und sein Fang geschildert. Die Untersuchung der Gliedertiere führte Albert sogar zu der Beobachtung, daß sich beim Krebs und Skorpion ein dem Rückenmark entsprechender Strang findet, der auf der Bauchseite durch den Körper läuft. Das Treiben des Ameisenlöwen schildert er mit folgenden Worten: „Der Ameisenlöwe ist nicht vorher eine Ameise, wie viele sagen. Denn ich habe oft beobachtet und habe es häufig Freunden gezeigt, daß dieses Tier Zeckengestalt hat. Es versteckt sich im Sande und gräbt darin eine halbkugelförmige Höhle, in deren Pol sein Mund ist. Läuft nun eine Ameise futtersuchend darüber, so fängt und frißt er sie. Dem haben wir oft zugesehen [1]).

Albertus Magnus war auch einer der ersten, der in Deutschland auf dem Gebiete der Chemie etwas leistete, ohne sich jedoch über die Araber zu erheben. Daß unedle Metalle sich in edle verwandeln lassen, war für Magnus eine ausgemachte Sache. Dies geht aus dem von ihm verfaßten Werk „De rebus metallicis et mineralibus" mit Bestimmtheit hervor. Albert glaubte auch an die Darstellbarkeit eines Elixiers, das imstande sei, allen Metallen die schönste Gold-

[1]) H. Stadler, Albertus Magnus von Cöln als Naturforscher und das Kölner Autogramm seiner Tiergeschichte. Leipzig 1908.

Nach der Kölner Handschrift, welche nach Stadler von den vorhandenen Handschriften die beste ist, wird von dem Genannten eine Ausgabe der Tiergeschichte des Albertus Magnus veranstaltet.

Nach Stadler standen Albertus Magnus, Thomas von Cantimpré und Vinzenz von Beauvais nicht in nahen Beziehungen, sondern alle drei haben kleine naturgeschichtliche Enzyklopädien des 13. Jahrhunderts benutzt, die wieder auf Plinius, Solinus und andere zurückgingen (Natur und Kultur. 1906. S. 86).

farbe zu verleihen. Er warnte zwar vor scheinbaren Umwandlungen, indessen wurden durch das hohe Ansehen, das Albert genoß, die alchemistischen Bestrebungen gefördert.

Ein fast noch höheres Interesse als dieser „Doctor universalis“ beansprucht Roger Bacon, der „Doctor admirabilis“. Seine Schriften umfassen nicht nur die Naturbeschreibung, die Chemie und die Physik, sondern alle Wissenszweige, insbesondere auch die Philosophie und die Theologie. Der englische Franziskanermönch Roger Bacon ist ferner einer der ersten in der Reihe der Märtyrer, welche die Geschichte seit der Zeit des Wiederauflebens der Wissenschaften aufzuweisen hat.

Roger Bacon wurde im Jahre 1214 geboren[1]). Er studierte in Paris und dann in Oxford, wo er später ein Lehramt bekleidete. Von großem Einfluß auf die Entwicklung Bacons war Petrus Peregrinus, der in Paris lehrte und als Experimentator gerühmt wurde. Bacon sagt von ihm, was dunkel sei, ziehe Peregrinus als Meister des Experiments ans Tageslicht[2]). Auch daß dieser für seine Zeit seltene Mann keine Wortgefechte liebte, sondern Beweise und Tatsachen verlangte, war für ihn charakteristisch und für Bacon, der das Wort „Scientia experimentalis“ prägte, von bestimmendem Einfluß[3]). Schon Gerbert[4]) hatte übrigens die Beschäftigung mit der Natur als Gegengewicht gegen die Ausartungen der scholastischen Streitereien empfohlen. Bacon tat dasselbe, indes mit größerem Nachdruck[5]). Als Quellen für seine Naturlehre benutzte Bacon die Griechen (Aristoteles, Euklid, Ptolemäos), die Römer (Plinius, Boëtius, Cassiodor) und die Araber. Unter den letzteren sind vor allem Avicenna (Ibn Sina) und Al Farabi zu nennen. Das Werk des letzteren, das eine Art Enzyklopädie darstellt, hatte Gerhard von Cremona unter dem Titel Liber de scientiis ins Lateinische übersetzt. Bacon besaß nicht nur die umfassende Gelehrsamkeit eines

[1]) Das Geburtsjahr steht nicht fest. Die Angaben schwanken zwischen 1210 und 1214.

[2]) Sebastian Vogl, Die Physik Roger Bacos. Inaug.-Dissert. Erlangen. 1906.

[3]) Von Peregrinus ist noch eine Schrift über den Magneten erhalten. Peregrinus unterschied die Pole des Magneten und wies die Anziehung der ungleichnamigen Pole nach.

[4]) Gerbert war in Frankreich geboren. Er besuchte die arabischen Hochschulen in Sevilla und Cordova und wurde im Jahre 999 zum Papst gewählt; als solcher führte er den Namen Sylvester II.

[5]) Vogl, a. a. O.

Albertus Magnus, sondern er zeichnete sich vor diesem durch größere Klarheit und Freiheit des Denkens aus. In seiner Schrift über die Nichtigkeit der Magie[1]) bekämpfte Bacon den Glauben an die Zauberei. Den Anhängern dieses Glaubens verdankte er selbst gegen das Ende seines Lebens eine zehnjährige Kerkerhaft. Sehr wahrscheinlich hat jedoch die Anklage auf Zauberei seinem Orden nur als Vorwand gedient, um ihn daran zu hindern, daß er fortfuhr, gegen die kirchlichen Mißstände zu eifern. Besaß doch Bacon die Kühnheit, auf eine Reformation der Kirche an Haupt und Gliedern, sowie auf eine kritische Behandlung der heiligen Schrift auf Grund der Urtexte zu dringen. Was er erstrebte, war eine freiere Gestaltung des religiösen Lebens. Und zwar geschah dies fast zur selben Zeit, als die Albigenser Südfrankreichs ihren Abfall von der Kirche schwer büßen mußten. Wenn Bacons Mahnung auch verhallte und nicht imstande war, einen Sturm zu entfesseln, wie ihn z. B. das Auftreten eines Huß zur Folge hatte, so verdient Bacon doch unter den Vorboten der Reformationsbewegung genannt zu werden. Daß er sich der Autorität des Aristoteles nicht unterwarf, war für die damalige Zeit ein nicht geringeres Verbrechen.

Andererseits vermag auch Bacon es nicht, sich gänzlich von den Fesseln der griechischen Philosophie und der mittelalterlichen Theologie zu befreien. So hält er mit Aristoteles an dem Glauben fest, daß die Welt räumlich begrenzt sei. Er sucht auch dialektisch zu beweisen, daß es nicht mehrere Welten oder gar eine unendliche Welt geben könne. Erst viel später, bei Giordano Bruno, tritt uns der Begriff des unendlichen Alls entgegen. Wie Aristoteles so weist auch Bacon mit dialektischen Gründen die Lehre vom Vakuum zurück, das die von Aristoteles bekämpften Anhänger der Atomenlehre als notwendiges Postulat für die Bewegung der Atome angenommen hatten[2]). Als Herrin der Wissenschaften gilt Bacon aber nicht die Philosophie, sondern die Theologie. Wenn ein Wissen, meint er, der heiligen Schrift widerspricht, so ist es irrig[3]). Innerhalb dieser Beschrän-

---

[1]) Epistola de secretis artis et naturae operibus atque nullitate magiae. Eine Ausgabe dieser Schrift erschien im Jahre 1542 in Paris.

Ausführlich über Bacon handelt Siebert, Roger Bacon, sein Leben und seine Philosophie. Marburg 1861.

[2]) Bacon, Opus tert. cap. 43. Siehe auch K. Werner, Die Kosmologie und allgemeine Naturlehre des Roger Baco. Wien, 1879.

[3]) Opus majus. Cap. 1.

kung verlangt er aber eine Erneuerung der Wissenschaften und eine Begründung der Naturwissenschaften auf Beobachtung und Versuch. Manches, was später, im 16. Jahrhundert, sein Namensvetter Francis Bacon gesagt hat, klingt an die schon von Roger Bacon ausgesprochenen Mahnungen und Forderungen an. „Diejenigen, die in den Wissenschaften neue Bahnen einschlugen“, sagt Roger Bacon[1]), „hatten alle Zeit mit Widerspruch und Hindernissen zu kämpfen. Doch erstarkte die Wahrheit und wird erstarken bis zu den Tagen des Antichrist“. Für die Wissenschaft gibt es nach Bacon drei Wege, die Erfahrung, das Experiment und den Beweis. Insbesondere wird die Mathematik gepriesen, aber auch der Sprache, als formellem Ausdruck des Denkens, wird die größte Bedeutung beigelegt. So heißt es bei ihm: „Wir müssen bedenken, daß Worte den größten Eindruck ausüben. Fast alle Wunder sind durch das Wort vollbracht worden. In den Worten äußert sich die höchste Begeisterung. Deshalb haben Worte, welche tief gedacht, lebhaft empfunden, gut berechnet und mit Nachdruck gesprochen werden, eine bedeutende Gewalt.“ Bacon erkannte die Fehlerhaftigkeit des julianischen Kalenders und machte dem Oberhaupt der Kirche Verbesserungsvorschläge. Der julianische Kalender, so führt er aus, rechne das Jahr zu 365 1/4 Tagen. Es sei aber erwiesen, daß es kürzer sei und in 130 Jahren ein Tag zuviel gerechnet werde.

Bacons optische Kenntnisse gingen über diejenigen Alhazens hinaus. So ist Bacon die sphärische Aberration bekannt, d. h. die Tatsache, daß Strahlen, welche parallel der Achse einfallen, sich nur dann in einem Punkte schneiden, wenn sie den Spiegel in gleichem Abstande vom optischen Mittelpunkte treffen. Auch mit der Brennkugel[2]) und den Konvexspiegeln befaßt er sich in Anlehnung an Alhazen. Von der Fata morgana heißt es, sie werde von manchen für eine teuflische Gaukelei gehalten, während sie aus natürlichen Ursachen zu erklären sei. Bacon beschreibt ferner die Instrumente zur Bestimmung des Durchmessers von Mond und Sonne. Die Größe der Erde stehe zur Größe des Himmels und der übrigen Gestirne in gar keinem Verhältnis. So sei die Sonne 170 mal so groß wie die Erde. Auch die Milchstraße bestehe aus vielen, zusammengedrängten Sternen, deren Licht sich mit dem der Sonne mische. Ebbe und Flut sollen dadurch zustande kommen, daß die Mondstrahlen beim senk-

[1]) Opus majus. Cap. 13.

[2]) Die Brennkugel erwähnen schon Aristoteles und Plinius.

rechten Auffallen die Dünste aufsaugen, auf deren Anwesenheit auch das Funkeln der Sterne zurückgeführt wird. Die Erscheinung, daß eine Flutwelle auch auf der dem Monde entgegengesetzten Seite der Erde entsteht, erklärt Bacon auf folgende Weise. Er nimmt an, die Fixsternsphäre sei fest; daher werfe sie die Strahlen des Mondes zurück. Diese reflektierten Strahlen treffen dann die dem Monde entgegengesetzte Seite der Erde und rufen dort dieselbe Erscheinung hervor, die sie beim direkten Einfallen erzeugen. Nach dieser Vorstellung sind der Fixsternhimmel und somit die Welt räumlich begrenzt. Hatte doch auch Aristoteles angenommen, daß die Fixsterne ihr Licht von der Sonne erhielten. Der Gedanke von der Unendlichkeit des Weltalls und der Vielzahl der Sonnen- und Weltsysteme konnte erst nach der Begründung des Kopernikanischen Systems entstehen.

Der Regenbogen wird von Bacon in Anlehnung an Aristoteles und Avicenna zu erklären gesucht. Daß der Regenbogen verschwindet, sobald die Sonne sich 42° über den Horizont erhebt, ist Bacon bekannt. Für das runde Sonnenbildchen, das entsteht, wenn die Sonne durch unregelmäßige Öffnungen in dunkle Räume scheint, kann er keine Erklärung finden. Das Licht erfordert nach seiner Meinung Zeit und besteht nicht in einer Absonderung von Teilchen, da sonst die leuchtenden Substanzen wie der Moschus sich verflüchtigen müßten. Zur Erläuterung der Art, wie das Licht sich fortpflanzt, führt Bacon folgenden schon Alhazen bekannten Versuch an. Werden drei Lichter vor die enge Öffnung eines Schirmes gestellt, so kreuzen sich die Strahlen in dieser Öffnung. Bacon betrachtete dies als einen Beweis dafür, daß sich die Spezies, d. h. dasjenige, worin er die Natur des Lichtes erblickte, nicht vermischen. Wir würden dafür heute sagen, daß die Lichtstrahlen, ohne sich gegenseitig zu stören, durch einen Punkt hindurchgehen.

Selbst wenn man annimmt, daß Bacons Wissen vollständig auf den alten Schriftstellern und den Arabern beruhe, so muß man doch zugeben[1]), daß er kein bloßer Kompilator war, sondern das Vorhandene zu prüfen, sich anzueignen und selbständig wiederzugeben verstand. Sein Hauptverdienst bleibt aber, daß er zu den ersten Männern zählt, die auf den Weg der eigenen Forschung, im Gegensatz zum Autoritätsglauben, hingewiesen haben, wenn es ihm selbst auch noch an Mitteln gebrach, diesen Weg unbeirrt zu

1) Vogl, Die Physik Roger Bacons.

verfolgen. Aus diesem Mangel an Befriedigung eines vorhandenen Dranges entspringt eine gewisse Sehnsucht, die sich darin ausspricht, daß Bacons Schriften mit häufigen Ausblicken auf eine größere Herrschaft des Menschen über die Natur erfüllt sind. Dieser Grundzug seines Wesens wird uns im 17. Jahrhundert bei seinem Namensvetter Franz Bacon wieder begegnen. Und es erscheint nicht ausgeschlossen, daß letzterer Roger mehr zu verdanken hat, als er durchblicken läßt[1]). Man kann dies als wahrscheinlich annehmen, ohne damit den späteren Bacon etwa des Plagiats bezichtigen zu wollen.

Bacons Hauptwerk führt den Titel „Opus majus". Es wurde 1267 vollendet und von Bacon dem Papste[2]) gewidmet[3]). Im ersten Teil des Opus majus spricht Bacon von den Hauptursachen der herrschenden Unwissenheit. Als solche gelten ihm die Eitelkeit und der Autoritätsglaube, die althergebrachten Vorurteile und die zahlreichen unrichtigen und unzulänglichen Begriffe. Der zweite Abschnitt bietet einen Überblick über die Fundamente, welche die Griechen und die Araber geschaffen. Im Mittelpunkte dieser Darstellung steht selbstverständlich Aristoteles, von dem in freimütiger Kritik gezeigt wird, daß seine Schriften weder erschöpfend noch frei von Fehlern seien. Um aber die bisherigen Leistungen würdigen zu können, fordert Bacon im dritten Abschnitt das Studium der Urtexte an Stelle des bis dahin üblichen Lesens lateinischer und arabischer Übersetzungen. Vor allem stellt er diese Forderung in bezug auf die Bibel und die Schriften des Aristoteles. Der vierte Abschnitt handelt von der Mathematik, einschließlich der Astronomie und ihrer Anwendungen. Verlangt wird die Reform des julianischen Kalenders. Auch findet sich in diesem Abschnitt der Gedanke ausgesprochen, daß sich durch eine Fahrt nach Westen das östliche Asien erreichen lassen müsse. Der nächste Abschnitt, der sich auf Alhazen stützt, handelt von der Optik. Die Reflexionen durch parabolische Spiegel, sowie die Anatomie und Physiologie des Auges sind so klar und treffend dargestellt, daß diese Abschnitte besonders den fortgeschrittenen Standpunkt Bacons

---

[1]) Döring, Die beiden Bacon (Arch. für Geschichte der Philosophie. 1904. 341).

[2]) Clemens IV.

[3]) Eine Neuausgabe veranstaltete J. H. Bridges. London 1897—1909. 3 Bände. Das Werk enthält den lateinischen Text und eine ausführliche Analyse jedes Kapitels in englischer Sprache, ferner eine Einleitung über das Leben und die Bedeutung Bacons.

Eine ältere Ausgabe wurde von Jebb (London 1733) herausgegeben.

erkennen lassen. Den eigentlichen Vorgang des Sehens verlegt er in das Gehirn, mit der Begründung, daß sich nur so die Vereinigung der in den beiden Augen entstehenden Sinneseindrücke zu einer einzigen Wahrnehmung erklären lasse. Der sechste Abschnitt ist der Wissenschaft vom Experimente gewidmet. Er beginnt mit den Worten: „Ohne eigene Erfahrung (Versuche) ist keine tiefere Erkenntnis möglich“[1]). Das Experiment wird hier schon als das wichtigste Mittel hingestellt, die Theorie zu stützen und sie zu neuen Folgerungen zu führen. Den Schluß des Werkes (7. Teil) bilden Betrachtungen über die Aufgabe der Wissenschaft, die Menschheit nicht nur zur Erkenntnis, sondern auch zu höheren sittlichen Zielen zu leiten. Von besonderem Interesse ist die Stellung, die Bacon der Mathematik gegenüber einnimmt. Er nennt sie das Tor und den Schlüssel der übrigen Wissenschaften. Die mathematischen Grundwahrheiten sind seiner Meinung nach dem Menschen eingeboren. Nur durch die Mathematik können wir[2]) zur vollen Wahrheit gelangen. In den übrigen Wissenschaften herrscht umso weniger Irrtum und Zweifel, je mehr wir sie auf die Mathematik zu gründen verstehen[3]).

Bacons Schriften sind von phantastischen Ausblicken in die Zukunft erfüllt. So schreibt er: „Es können Wasserfahrzeuge gemacht werden, welche rudern ohne Menschen, so daß sie, während ein einziger Mensch sie regiert, mit einer größeren Schnelligkeit dahinfahren, als wenn sie voll schiffbewegender Menschen wären. Auch können Wagen gebaut werden, die ohne Tiere mit einem unermeßlichen Ungestüm in Bewegung gesetzt werden.“ Wie Bacon sich indessen die Ausführung dieser Ideen dachte, gibt er nicht an. Es würde daher verfehlt sein, wollte man solchen Aussprüchen, wie es wohl geschehen ist, eine weitergehende Bedeutung beimessen.

Ferner finden sich Bemerkungen, auf Grund deren man Bacon die Priorität hinsichtlich der Erfindung des Fernrohres zugeschrieben hat. Da aber nicht erwiesen ist, daß Versuche oder auch nur eine klare Einsicht in die Grundzüge der Konstruktion vorlagen, so sind solche Ansprüche, die von englischer Seite herrühren, zurückzuweisen, ohne daß hierdurch die Bedeutung des eigenartigen Mannes eine Schmälerung erlitte. Bacon konnte in Wirklichkeit

1) Sine experientia nihil sufficienter sciri potest.

2) Opus majus IV. Cap. 3.

3) Ein Wort, das lebhaft an Kants späteren, oft zitierten Ausspruch erinnert.

nicht einmal mit dem Gebrauch der Brillen bekannt sein. Diese kamen wahrscheinlich erst um 1280 auf[1]). Wohl die erste handschriftliche Erwähnung findet sich in einem Briefe vom Jahre 1299. Jemand sagt dort, daß er ohne Brille, die vor kurzem zum Besten alter Leute mit geschwächtem Sehvermögen erfunden sei, weder lesen noch schreiben könne.

Gleich allen seinen Zeitgenossen, war Bacon in dem Glauben an die Möglichkeit der Metallveredelung befangen, wie er auch von dem Gedanken durchdrungen war, daß die Gestirne einen Einfluß auf die Erde und das Schicksal der Menschen ausüben. Er erwähnt ein Gemenge, dessen Entzündung eine furchtbare Erschütterung hervorbringe. Als einen Bestandteil dieses Gemenges nennt er Salpeter. Offenbar haben wir es hier mit dem Schießpulver zu tun, das um diese Zeit von Ostasien her seinen Weg nach Europa gefunden hatte. Es wurde zuerst in Bergwerken zum Sprengen gebraucht. Seit dem 14. Jahrhundert führte das Pulver eine Umwälzung in der Art der Kriegsführung herbei, die von großem Einfluß auf die politische Gestaltung Europas wurde.

Gewissermaßen gehört Bacon auch zu den geistigen Urhebern der großen Entdeckungsreisen. Er vertrat nämlich die Ansicht, Asien erstrecke sich so weit nach Osten, daß seine östliche Küste durch eine kurze Fahrt über den atlantischen Ozean erreicht werden müsse. Diese Ansicht Bacons nebst ihrer Begründung nahm Pierre d'Ailly in sein „Imago mundi" betiteltes Werk[2]) auf. Und es ist bekannt, daß Columbus später insbesondere durch das Lesen dieses Werkes zu seiner Fahrt nach Westen angeregt wurde[3]).

Aus allem geht hervor, daß wir es in Bacon mit einem hochbedeutenden Menschen zu tun haben, der in der Entwicklung der Wissenschaften eine hervorragende Rolle gespielt und die Bewun-

---

[1]) Als Erfinder wurde ein Salvino degli Armati in Florenz auf einem Grabstein genannt mit dem Zusatze: „Gott verzeihe ihm seine Sünden". Nach anderer Nachricht ist Alexander de Spina als Erfinder der Brillen zu betrachten. Soviel ist sicher, daß die ersten Brillen in Italien gemacht wurden, und daß dies gegen das Ende des 13. Jahrhunderts geschah (Wilde, Optik. I. S. 96).

[2]) Das Buch war eine der Enzyklopädien des Mittelalters. Es entstand im Anfang des 15. Jahrhunderts. Columbus wurde dadurch mit der Ansicht des Aristoteles und Strabos bekannt, daß die Ostküste Asiens durch eine Fahrt nach Westen zu erreichen sein müsse.

[3]) Tschackert, Peter von Ailly, Gotha 1877. S. 335.

derung, die man ihm gezollt, verdient hat[1]). Bacon ist einer der wenigen, das Dunkel des christlichen Mittelalters durchdringenden Sterne. Daß er sich nicht völlig von den Vorurteilen seiner Zeit frei zu machen wußte, darf die Anerkennung, die wir ihm spenden müssen, nicht schmälern.

Auf dem Gebiete der Wissenschaften tritt die Eigenart des Mittelalters besonders in den Bestrebungen der Astrologen und der Alchemisten zutage. Astrologie und Alchemie sind Wörter, bei deren Klang man sich sofort in jene Zeit, von der wir handeln, zurückversetzt fühlt. Nicht nur die mit diesen Namen bezeichneten Pseudowissenschaften, sondern mitunter auch Magie und Nekromantie waren damals Gegenstand von Universitätsvorlesungen.

Die größten alchemistischen Torheiten bezüglich der Wirkung der Materia prima oder des Steins der Weisen gingen von Raymundus Lullus aus. Lullus, der Doctor illuminatissimus, wurde um 1230 geboren. Seine Schriften, oder was an solchen unter seinem Namen ging, fanden besonders im 14. Jahrhundert zahlreiche Leichtgläubige. Als eine Ausgeburt der Phantasie des Lullus begegnet uns die Lehre von der Multiplikation. Der Stein der Weisen verwandelt danach zunächst die 1000fache Menge Quecksilber in Materia prima. Und dies konnte mehrfach wiederholt werden, bis nach einer gewissen Abschwächung der verwandelnden Kraft die Materia prima die 1000fache Menge Quecksilber in reines Gold verwandelte. In Anbetracht dieser Übertreibung des alchemistischen Gedankens kann es nicht wundernehmen, wenn man sich zu dem Ausspruch verstieg: „Mare tingerem, si Mercurius esset“ (das Meer würde ich in Gold verwandeln, wenn es aus Quecksilber bestände).

Von den naturwissenschaftlichen Kenntnissen und Vorstellungen, welche um die Mitte des 14. Jahrhunderts herrschten, erhält man ein in mancher Hinsicht zutreffendes Bild durch Megenbergs Buch der Natur.

Konrad von Megenberg wurde um 1309 in der Maingegend geboren. Er empfing seine Vorbildung in Deutschland und in Paris, wo er den Doktorgrad erwarb. Darauf lehrte er in Wien und schließlich wirkte er als Kanonikus in Regensburg. Dort schrieb er sein Werk, das er um 1350 bekannt gab[2]). Er starb im Jahre 1374.

1) Siehe K. Werner, Die Kosmologie und allgemeine Naturlehre des Roger Baco, Wien 1879.

2) Es wurde 1862 nach den Handschriften von Fr. Pfeiffer veröffentlicht. Die neueste Bearbeitung rührt von H. Schulz her: Conrad von

Megenbergs Hauptquelle ist eine von Thomas von Cantimpré um 1250 verfaßte Schrift: Über die Natur der Dinge (De naturis rerum). Sie bietet eine Übersicht über das damalige Wissen von den lebenden und den leblosen Naturgegenständen. Und zwar ist Cantimprés Buch das erste Werk dieser Art, welches das Mittelalter hervorbrachte[1]). In zwanzig Büchern behandelt Thomas die Anatomie des Menschen, die Tiere, die Pflanzen, die Metalle und Edelsteine, die vier Elemente und das Himmelsgewölbe mit den sieben Planeten. Das Werk ist indessen nicht auf eigene Anschauung gegründet, sondern aus den verschiedensten Schriftstellern geschöpft. Am meisten benutzt sind Aristoteles, Galen und Plinius. Aber auch Theophrast, Isidor von Sevilla und die Kirchenväter werden herangezogen. Megenbergs Buch der Natur lehnt sich so eng an die besprochene Schrift des Thomas an, daß es als eine gekürzte und dem Fortschritt des seitdem verflossenen Jahrhunderts Rechnung tragende deutsche Bearbeitung bezeichnet werden kann[2]). Doch hat Megenberg, wie er ausdrücklich bemerkt, wenn ihn das Buch des Thomas im Stiche ließ, auch andere Bücher benutzt.

Dabei ist er durchaus kein bloßer Kompilator. Er weist sogar manches, was Thomas unbeanstandet aufnimmt, als unglaubwürdig zurück. Daß er trotzdem an Wunder, Zauberei und Beschwörungen glaubt, muß man auf Rechnung des Geistes seiner Zeit setzen. So ist das Buch Megenbergs eins der geeignetsten Zeugnisse für das vor dem Wiederaufleben der Wissenschaften selbst in aufgeklärten Männern anzutreffende Fühlen und Denken. Einige Mitteilungen aus dem Inhalt des Buches mögen dies des Näheren dartun.

Der erste Abschnitt betrifft den Menschen. Es sind die Lehren des Aristoteles und des Galen, die uns hier in derjenigen

---

Megenberg, Das Buch der Natur. Die erste Naturgeschichte in deutscher Sprache. In neuhochdeutscher Sprache bearbeitet und mit Anmerkungen versehen von H. Schulz. Greifswald 1897.

[1]) Es sind noch zahlreiche Handschriften vorhanden, so in Breslau, Wolfenbüttel, Gotha, Paris, London usw. Siehe Carus, Geschichte der Zoologie. S. 214.

[2]) Daß es eine große Verbreitung fand, beweisen die zahlreichen Handschriften, die sich noch heute besonders in Süddeutschland finden. Auch erschien es bis 1500 sechsmal im Druck.

Megenbergs „Buch der Natur“ ist eine Übersetzung des Thomas von Cantimpré und darf nicht als selbständige Arbeit betrachtet werden (H. Stadler, Albertus Magnus, Thomas von Cantimpré und Vinzenz von Beauvais, Natur und Kultur. 1906. S. 86—90).

Gestaltung begegnen, die sie durch spätere Schriftsteller erfahren haben[1]). Das Gehirn soll von Natur kalt, das Herz dagegen warm sein. Das Gehirn liege oberhalb des Herzens, damit seine Kälte durch die Wärme des Herzens gemildert werden könne. Die Natur lasse zuerst das Herz entstehen und danach das Gehirn. Vom Auge heißt es, es sei von dünnen Häuten umgeben. Diese umschlössen die kristallinische Feuchtigkeit, auf welcher die Sehkraft beruhe. Der Sehnerv wird als eine hohle Ader bezeichnet, deren Aufgabe es sei, den Augen die eigentliche geistige Sinnestätigkeit zuzuführen. Man sieht, es sind verworrene Vorstellungen, aus denen nicht ersichtlich ist, wie sich Megenberg den Vorgang des Sehens eigentlich denkt. Über das Herz und die Lungen äußert er sich etwa mit folgenden Worten: Das Herz ist das erste Lebendige und das letzte Organ, das stirbt. Es besitzt zwei Kammern, eine rechte und eine linke. Sie bergen das Blut und die besonderen Geister, welche das Leben bedingen. Die Geister und das Blut strömen durch die Adern vom Herzen zu den übrigen Organen hin. Das Herz ist der Lunge angelagert, weil die weiche Lunge durch ihre Tätigkeit, Luft aufzunehmen, das Herz kühl halten kann, so daß es nicht in seiner eigenen Hitze erstickt. Eine genaue Unterscheidung zwischen Adern, Nerven und Sehnen findet bei Megenberg noch nicht statt.

Der zweite Abschnitt handelt „von den Himmeln und den sieben Planeten". Außerhalb des Firmaments, an welchem die Fixsterne befestigt sind, unterscheidet Megenberg noch zwei Sphären, den Wälzer und den Feuerhimmel. Nach innen folgen die sieben Planetenhimmel, von denen jeder nur einen Stern trägt. Alles bewegt sich in verschiedenen Zeiträumen um den Mittelpunkt der Welt, die Erde. Jeder Planet hat seine besonderen Eigenschaften und Wirkungen. So ist Jupiter warm und trocken. Deshalb macht er das Erdreich fruchtbar und bringt ein gutes Jahr, wenn er in seiner vollen Kraft und günstigsten Stellung scheint. Mars ist heiß und trocken; daher erhitzt er der Menschen Herz und macht sie zornig. Der Sonne werden fünfzehn Eigenschaften zugeschrieben, die dann in allegorischer Weise auf die heilige Jungfrau bezogen werden.

Hinsichtlich der Kometen begegnen wir einer Auffassung, die bis zu Tychos und Keplers Zeiten die herrschende blieb. Ein Komet ist danach kein eigentlicher Stern, sondern ein „Feuer, das

1) Siehe Ausg. v. Schulz, Vorrede. VI.

im obersten Luftreich brennt". Genährt wird dieses Feuer durch fettigen, der Erde entstammenden Dunst. Die Dauer des Kometen hängt davon ab, wie lange dieser Dunst in hinreichender Menge nachströmt. Betrachtete man die Kometen als atmosphärische Erscheinungen, so war die Annahme, daß sie auf die Erde eine tiefere Wirkung als die Gestirne ausüben, ganz folgerichtig. Der Komet muß für das Land, dem er den Schweif zukehrt „ein Hungerjahr bringen, weil dem Boden dort die Feuchtigkeit entzogen wird". Die Milchstraße endlich wird ganz zutreffend auf „zahlreiche, nahe beieinander befindliche Sterne zurückgeführt, deren Schein vereint leuchtet".

Megenberg bespricht dann die atmosphärischen Vorgänge. Der Wind wird nicht etwa als eine Bewegung der Luft in ihrer ganzen Masse aufgefaßt, sondern als ein „angesammelter irdischer Dunst" betrachtet, der sich durch die Luft bewegt. Aus dem irdischen fetten Dunst, der gegen die Wolken stößt, sucht Megenberg auch Blitz und Donner zu erklären. Die Kraft des Anpralls bewirke die Entzündung, d. h. den Blitz. Der Regenbogen endlich wird als eine Spiegelung des Sonnenlichtes in den Wolken aufgefaßt. Durch die Annahme von Dünsten im Innern der Erde wird, unter Zurückweisung alter Fabeleien, auch das Erdbeben erklärt. Auf die in Höhlungen der Gebirge befindlichen Dünste sollen die Gestirne, besonders Mars und Jupiter in der Art wirken, daß sie ihren Andrang gegen die Wände der einschließenden Hohlräume vermehren. Dadurch komme eine Erschütterung der Erde zustande. Megenberg berichtet dann über ein starkes Erdbeben, das 1348 in den Alpen und in Süddeutschland verspürt wurde. In demselben Jahre wurde Europa durch den schwarzen Tod heimgesucht, das „größte Sterben, das je nach oder vielleicht auch vor Christi Geburt dagewesen". Allein in Wien seien an dieser Seuche 40000 Menschen in wenigen Monaten zugrunde gegangen. Megenberg ist nun geneigt, zwischen dem Erdbeben und jener Krankheit einen ursächlichen Zusammenhang anzunehmen. Bei dem Erdbeben entweiche nämlich giftiger Dunst aus dem Innern der Erde. Das Weltbild, welches sich das Mittelalter nach dem Vorgange der Alten geschaffen und wie es uns in Megenbergs Schrift entgegentritt, wird durch eine Schilderung der Tiere, der Pflanzen und der wichtigsten anorganischen Naturkörper vervollständigt. Auf die Beschreibung des Tieres im allgemeinen, die ganz im Geiste und oft in wörtlicher Übereinstimmung mit Aristoteles gehalten ist, folgen Mitteilungen über das Aussehen und die Lebens-

weise der einzelnen Geschöpfe. Von einer systematischen Einteilung nach irgend welchen wissenschaftlichen Gesichtspunkten ist dabei aber noch keine Rede. Die Anordnung ist vielmehr die alphabetische. Auch wird über manches Tierwunder berichtet, das sich später als eine Ausgeburt der Phantasie älterer Schriftsteller erwiesen hat. So wird auch die alte Geschichte des Physiologus von dem Walfisch, dessen Rücken für eine Insel gehalten wird, wieder aufgefrischt. Manche Bemerkung über einheimische Tiere beruht auf eigener Beobachtung oder wenigstens auf der Beobachtung Mitlebender. Doch fehlen auch nicht Angaben alter Schriftsteller, die ohne Nachprüfung aufgenommen werden. So heißt es beim Pferde, Aristoteles sage, aus dem Haare dieses Tieres entstehe im Wasser ein Wurm. Nicht selten wird aber derartigen Mitteilungen ein treuherziges: „Das glaube ich nicht“ hinzugefügt, so der Erzählung des Plinius, daß der Luchs durch eine Wand zu sehen vermöge.

Die nächsten Abschnitte handeln — gleichfalls in alphabetischer Folge — von den Bäumen und von den Kräutern. Die Beschreibungen beschränken sich auf den äußeren Habitus der ganzen Pflanze und das Aussehen der Früchte. Im Mittelpunkt der Darstellung stehen die physiologischen Wirkungen, die von den Pflanzen ausgehen. Zur Erklärung dieser wunderbaren Wirkungen genügt nach Megenberg jedoch nicht die Mischung der in den Kräutern enthaltenen Elemente, sondern er nimmt daneben den Einfluß der Gestirne an. Oft komme auch der Einfluß der heiligen Worte in Betracht, mit denen man Gott anrufe und durch die man die Kräuter beschwöre und segne, wie man ja auch das Weihwasser einsegne.

Durch den göttlichen Willen haben auch die Steine wunderbare Eigenschaften und Kräfte, vor allem besitzen sie einen segenbringenden Einfluß. Manche Mineralien sind giftwidrig, ja sie zeigen sogar durch Ausschwitzungen an, ob sich Gift in der Nähe befindet. Der Carneol besänftigt den Zorn und stillt Blutungen. Offenbar wurde ihm diese Eigenschaft seiner roten Farbe wegen zugeschrieben. Auch bei den übrigen Mineralien werden die Eigenschaften ganz obenhin erwähnt, dagegen um so ausführlicher ihre Verwendung zu Amuletten gewürdigt, ohne daß Megenberg Zweifel an der Richtigkeit der an die Mineralien sich knüpfenden, damals herrschenden, abergläubischen Vorstellungen kamen.

Wir haben das Buch der Natur etwas eingehender gewürdigt, weil eine derartige Probe weit lehrreicher ist als lange Betrach-

tungen über den Geist des Mittelalters. Erst wenn wir uns den geistigen Besitz und das Fühlen und Denken jener Zeit an einem Schriftsteller wie Megenberg oder Thomas von Cantimpré vergegenwärtigt haben, können wir den Umschwung ermessen, der mit dem Wiederaufleben der Wissenschaften eintrat und der neueren mit Kopernikus, Galilei und Kepler anhebenden Naturforschung den Weg bereiten half.

11. Der Beginn des Wiederauflebens der Wissenschaften.

Bis zur Beendigung der Kreuzzüge hatte Westeuropa unter einer überwiegend kirchlichen Führung gestanden. Probleme religiöser und scholastisch-philosophischer Art nahmen während dieser Zeit das Denken vorzugsweise in Anspruch. Das nunmehr eintretende Sinken der Hierarchie hatte zur Folge, daß man sich auch anderen Gegenständen zuwandte.

Es sind vor allem zwei mächtige neue Bewegungen von nie versiegender Wirkung, welche die europäische Menschheit gegen den Ausgang des Mittelalters ergriffen, die Wiederbelebung des klassischen Altertums und die durch die Entdeckungsreisen erfolgende Ausdehnung des geographischen Gesichtskreises über die gesamte Erde.

Vorbereitet wurde der große geistige Umschwung, dessen Vorboten bis in das 13. Jahrhundert zurückreichen, durch einen wirtschaftlichen Vorgang, nämlich durch das Emporblühen des Städtewesens. Vor allem sind hier Pisa, Florenz, Venedig und Genua zu nennen. Diese waren durch den Handel zu Wohlstand und Macht und schließlich sogar zu einer meerbeherrschenden Stellung gelangt. Die Berührung mit sämtlichen Völkern des Mittelmeeres, das Emporblühen der Kunst und der Gewerbe, kurz die Erweiterung des gesamten Gesichtskreises brachten es mit sich, daß an diesen Stätten die Nacht des Mittelalters zuerst der Morgenröte eines neuen, besseren Tages wich.

Die ältere Geschichtsschreibung liebte es, die Renaissance als ein fast blitzartiges Aufleuchten eines neuen Geistes hinzustellen, wodurch das tiefe Dunkel des Mittelalters verscheucht und von Italien aus das übrige Europa allmählich erhellt worden sei. Es war dies die besonders durch Burkhardt[1]) vertretene Anschauung. Burkhardt stand noch allzusehr unter dem Einflusse Vasaris des frühesten Geschichtsschreibers der Renaissance.

---

1) J. Burkhardt, Die Kultur der Renaissance in Italien. Derselbe, Geschichte der Renaissance in Italien.

Vasari[1]), der um die Mitte des 16. Jahrhunderts schrieb, stand offenbar den von ihm geschilderten Begebenheiten zeitlich noch zu nahe, um ein zutreffendes, allgemeines Urteil fällen zu können. Auch war er bestrebt, die von ihm behandelte Epoche in hellem Glanze der vorangehenden Zeit gegenüber hervortreten zu lassen[2]).

Die neuesten Forschungen über die Entwicklung des geistigen Lebens und der Kunst lassen immer deutlicher erkennen, daß sich zwischen Mittelalter und Renaissance keine scharfe Grenze ziehen läßt. Vielmehr reicht die Bewegung, die wir mit dem letzteren Worte kennzeichnen, in ihren Anfängen bis in das 13. Jahrhundert zurück. Auch war sie keineswegs auf den Boden Italiens beschränkt. Erlebte die Renaissance auch dort ihre höchste Blüte, so begegnet uns die Wiedergeburt der Künste und der Wissenschaften doch auch in Frankreich, Deutschland und den Niederlanden. Und zwar lassen sich auch in diesen Ländern das Streben nach selbständiger Auffassung und eine dadurch bedingte Abkehr von spiritualistischer Denkweise, gewissermaßen eine allmähliche Umwertung der Werte, bis in das 13. Jahrhundert zurückverfolgen. Dennoch darf man, im Gegensatz zur älteren historischen Schule (Burkhardt, Voigt, Libri) nicht so weit gehen, die Renaissance „als das Resultat und die feinste Blüte des Mittelalters“ zu bezeichnen[3]). Ist doch die Renaissance, die wenn auch lange vorbereitete, allmähliche Überwindung derjenigen Momente, welche das christliche Mittelalter kennzeichnen. Als diese im geistigen Leben des Mittelalters überwiegenden Momente werden stets gelten müssen: erstens die Unterordnung der wissenschaftlichen und künstlerischen Betätigung unter den Einfluß der Kirche, ferner die Herrschaft der Autorität des geschriebenen Wortes und drittens die Abkehr von realistischer und die Versenkung in die spiritualistische Denkweise.

Die Wiederbelebung der römischen und der griechischen Literatur erfolgte seit dem 14. Jahrhundert in immer größerem Umfange und führte zu einer wachsenden Vertiefung in den Geist der Antike. Es entstand die Richtung, die man als den Humanismus bezeichnet. Brachte sie den Naturwissenschaften auch keinen unmittelbaren Gewinn, so bewirkte sie doch, daß mit den er-

[1]) Giorgio Vasari, Vite di più eccellente pittori, scultori ed architetti. Florenz 1550. Dasselbe deutsch 1832—1849. 6 Bände.

[2]) W. Goetz, Mittelalter und Renaissance. Historische Zeitschrift. Bd. 98 (1907). S. 30).

[3]) W. Goetz, a. a. O. S. 50.

wähnten mittelalterlichen Elementen, welche das Denken bisher gefangen hielten, gebrochen und für die Behandlung und die Darstellung, wissenschaftlicher Gegenstände Vorbilder gewonnen wurden. Es wurde, wie ein hervorragender Geschichtsschreiber der Periode des Humanismus sagt [1]), „die vergessene Tiefe der Vorzeit heraufbeschworen und diese in ihren edelsten Schöpfungen noch einmal durchlebt“. Das Land, wo der Humanismus seine erste Blüte erlebte, war Italien. Dort waren nämlich die Scholastik, die romantische Poesie und die gotische Baukunst nie zur vollständigen Herrschaft gelangt und immer noch eine Erinnerung an das Altertum übrig geblieben, die endlich im 15. Jahrhundert alle Geister ergriff und der Literatur ein neues Leben einhauchte [2]).

Auf dem Boden Italiens hatte die Berührung der antiken Welt mit dem germanischen Elemente vorzugsweise stattgefunden. War Italien dabei auch von vielen Völkern zertreten worden, so hatten sich doch manche Reste und Vermächtnisse der alten Kultur in die neue Zeit hinübergerettet. Die führenden Männer, denen wir die Wiederbelebung dieser Keime verdanken, waren vor allem Petrarka und Boccaccio. In den Beginn der großen literarischen Epoche, welche diese Männer verkörpern, gehört der bewundertste Dichter der italienischen Nation, Dante. Geboren wurde Dante 1265 in Florenz; er starb im Jahre 1321. Dante hat zwar von den besten römischen Dichtern, wie Horaz, Ovid und Virgil, manche Anregung empfangen, doch gehört er noch nicht zu den Erneuerern der alten Literatur. Seine Bildung beruht vielmehr noch vorzugsweise auf dem Trivium und dem Quadrivium der mittelalterlichen Philosophen. Der Geist, der aus Dante spricht, ist aus der Vereinigung der Scholastik mit der provenzalischen Romantik hervorgegangen. Und diesen Geist verrät auch sein geniales Meisterwerk, die Göttliche Komödie [3]). Es war höchstens eine dunkle Ahnung, mit der Dante in das gelobte Land hinüberschaute, seinen Boden hat er noch nicht betreten [4]). Das geschah erst durch Francesco Petrarka (1304—1374).

---

1) G. Voigt im Vorwort zu seinem Werke, Die Wiederbelebung des klassischen Altertums. Berlin 1859.

2) Ranke, Deutsche Geschichte im Zeitalter der Reformation. I. S. 174 u. f.

3) Sie ist nicht nur als ein hervorragendes Werk der Dichtkunst, sondern auch als eine Fundgrube für den Stand der Kenntnisse zu Beginn des 14. Jahrhunderts zu schätzen. Siehe auch Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie. Bd. II. S. 173.

4) G. Voigt, Die Wiederbelebung des klassischen Altertums. Berlin 1859.

Petrarkas Vater besaß einige Schriften Ciceros. Sie und die Dichtungen Virgils, welche das Mittelalter nie vergessen hatte, kamen dem jungen Petrarka in die Hände und wurden von ihm weniger des Inhalts als des Wohllauts der Sprache und des beredten Ausdrucks wegen mit Begeisterung gelesen. Da man nur einen kleinen Teil der Schriften Ciceros besaß — die Briefe z. B. waren ganz in Vergessenheit geraten —, so begann Petrarka, als er heranwuchs, nach den verschollenen Werken des von ihm so hoch verehrten Schriftstellers zu suchen. Sein Umherstöbern in alten Klosterbibliotheken wurde mit Erfolg belohnt. Er selbst begab sich ans Abschreiben und wußte zahlreiche Männer in den Dienst seiner Bestrebungen zu stellen. Nach Spanien, Frankreich, Deutschland und Britannien, ja selbst nach Griechenland sandte er die Aufforderung, nach bestimmten, verschollenen Schriften zu forschen. Oft fügte er seinen Bitten und Mahnungen auch Geldbeträge bei. Die Schriften der Alten wurden aber nicht nur gesammelt und vervielfältigt, man betrachtete sie auch als Muster für den Ausdruck und bemühte sich, den eigenen Ausdruck danach zu vervollkommnen.

Petrarka wandte sein Interesse nicht nur den Literaturwerken, sondern auch allen übrigen antiken Überresten, wie Bauwerken, Münzen usw. zu, an welchen der Boden Italiens so reich war. Auch auf die griechische Kultur lenkten Petrarka und seine Nachfolger die Aufmerksamkeit des Abendlandes. Zwar fehlte es im 14. Jahrhundert zunächst noch sehr an der Kenntnis der griechischen Sprache. Hierin trat aber eine Änderung nach dem Fall Konstantinopels ein, da viele griechische Flüchtlinge infolge dieses Ereignisses sich nach Italien wandten. Der treueste und eifrigste Jünger Petrarkas war Giovanni Boccaccio. Der Eifer, von den alten Schätzen zu sammeln, was noch zu retten war, wurde fast durch die Besorgnis übertroffen, daß es schon zu spät sein möchte. Daß diese Besorgnis sehr gerechtfertigt war, beweist Boccaccios Bericht über seinen Besuch der Bibliothek zu Monte Cassino. Er fand sie in einem vernachlässigten Raume und weder durch Schlösser noch durch Türen abgesperrt. Als er die Codices öffnete, bemerkte er Verstümmelungen aller Art. Weinend vor Unwillen verließ er den Raum. Seine Frage, warum man die herrlichen Schätze so schmählich behandle, wurde von den Mönchen dahin beantwortet, daß man das herausgeschnittene Pergament zu Psaltern und Breven verwende, die an Frauen und Kinder ver-

kauft würden[1]. Und das geschah in Monte Cassino, einer Pflanzstätte der Gelehrsamkeit.

Auf die Zeit des Beginns des Humanismus folgte seine Ausbreitung. Sie geschah besonders durch Wanderlehrer und durch die Gründung von Gelehrtenrepubliken nach platonischem Muster. Es ist als eine große Tat der ersten Humanisten zu betrachten, daß sie die Fürsten, vor allem die Mediceer, ja den gesamten Adel des Landes, aber nicht minder das wohlhabende Bürgertum der italienischen Stadtrepubliken für ihre Bemühungen zu begeistern wußten. Dies war um so schwieriger, als ja zu jener Zeit die beweglichen Lettern noch nicht der Wissenschaft Flügel verliehen hatten, sondern die gehobenen literarischen Schätze noch durch Abschreiben vervielfältigt werden mußten. Der Humanismus fand auch an den Universitäten und bei den kirchlichen Machthabern eine Heimstätte. Vor allem war es Papst Nikolaus V., der nach mediceischem Vorbilde große Mittel für literarische Bestrebungen ausgab. Auf seine Anregung hin wandte man sich besonders der griechischen Literatur zu. An Stelle der alten scholastischen Bearbeitungen traten jetzt im Abendlande die wirklichen aristotelischen und platonischen Schriften. Papst Nikolaus, dem es in erster Linie auf das Sammeln der Bücher ankam, der Begründer der großen, dem Ansehen des Papsttums entsprechenden vatikanischen Bibliothek, zog viele griechische Gelehrte nach Rom und ließ nach dem Fall Konstantinopels durch reisende Händler zahlreiche Bücher in Griechenland und in Kleinasien aufkaufen. Seitdem die humanistischen Bestrebungen durch Nikolaus V. ihren Mittelpunkt in Rom gefunden hatten, dehnte sich ihr Einfluß auch nördlich von den Alpen aus. Mit den Gelehrten waren zahlreiche griechische Texte, darunter z. B. die Werke des Archimedes, von Konstantinopel nach Italien gelangt. Der Humanismus erlebte jetzt nicht nur hier, sondern auch im übrigen Europa, vor allem in Deutschland, wo er durch den Kardinal Nikolaus von Cusa besonders Eingang fand, und in England die Zeit seiner höchsten Blüte.

Hatte Papst Nikolaus V. die humanistischen Studien mehr aus Liebhaberei und in der Absicht gefördert, Rom zum Mittelpunkt auch für die geistigen Bestrebungen zu machen, so bestieg bald nach ihm in Pius II.[2] ein wirklicher Humanist den päpstlichen Stuhl. Er wandte sich der Geographie und der Geschichte

1) G. Voigt nach Benvenuti Insolensis Comment. in Dantes Comoed.

2) Auch unter dem Namen Enea Silvio bekannt.

zu, suchte beide Wissenschaften in Beziehung zu setzen und schuf eine Kosmographie, die auch Kolumbus angeregt hat[1]). Pius der Zweite verdient um so mehr Anerkennung, als die Humanisten dem wissenschaftlichen Vermächtnis des Altertums zunächst wenig Interesse und Verständnis entgegenbrachten. Mathematik, Naturwissenschaften und Medizin, kurz strengere Wissenschaft fanden nur geringe Beachtung. Der Humanismus war herrschende Mode geworden und diese verlangte vorzugsweise schöngeistige Leistungen. Das größte Gewicht wurde bei allem literarischen Schaffen auf die Schönheit der Form gelegt und unter diesem Betreben erlangte wiederum, unter der Führung Petrarkas und Boccaccios, die heimatliche Sprache eine solche Vollendung, daß Galilei und seine Schüler es vorzogen, in der Sprache ihres Landes zu schreiben, während in Deutschland und den übrigen Ländern unter den Gelehrten kaum jemand daran dachte, sich einer anderen Sprache als der lateinischen zu bedienen.

Trotz aller Bestrebungen der Päpste, Rom zum Mittelpunkt der humanistischen Bestrebungen zu machen, gebührt Florenz der Ruhm, nicht nur die Wiege sondern in der Folge auch der bedeutendste Hort des Humanismus gewesen zu sein. Die Geschicke von Florenz hingen während des gesamten 15. Jahrhunderts auf das Engste mit der über ungemessene Reichtümer verfügenden, gleichzeitig aber für Kunst und Wissenschaft begeisterten Familie der Mediceer zusammen. In Cosmo und in seinem Enkel Lorenzo, dem „Prächtigen", fanden die Künstler und die Gelehrten Gönner, die ihren Bestrebungen nicht nur eine jederzeit offene Hand, sondern auch ein volles Verständnis entgegenbrachten. Cosmo selbst war der Stifter einer Akademie, in der sich die geistig und künstlerisch hervorragenden Männer nach dem Vorbilde des platonischen Gastmahls aneinanderschlossen. Dem Beispiele der Päpste und der Mediceer folgte, wie nicht anders zu erwarten, alles was Anspruch auf Reichtum und vornehme Herkunft machte. Auch die Frauen nahmen einen hervorragenden Anteil an dieser Bewegung, die ihre Kehrseite leider in den politischen und sittlichen Zuständen des damaligen Italiens fand. Die Freude, welche jene Bewegung in ihrer Lebensfülle hervorruft, wandelt sich in Anbetracht mancher Ergebnisse der neueren Geschichtsforschung mitunter in das Gefühl des Schauderns, während die älteren Schilderer jenes Zeitalters jene Kehrseite zu wenig beachteten und in dem Gemälde,

[1]) Lindner, Weltgeschichte IV. 277.

das sie uns von der Renaissance entwarfen, nur die lichten Seiten hervortreten ließen.

Es war für die weitere Entwicklung des geistigen Lebens von der größten Bedeutung, daß mit dem Einsetzen der humanistischen Richtung die Erfindung des Buchdrucks und die Errichtung der ersten Universitäten auf deutschem Boden zusammenfielen. Das Universitätswesen war im 13. Jahrhundert in Spanien, Italien, Frankreich und England herangeblüht. In Deutschland fehlte es zwar nicht an Privat-, Pfarr- und Stadtschulen, eine weitergehende wissenschaftliche Bildung und akademische Würden konnten aber nur im Auslande erlangt werden[1]). Eine Änderung trat erst ein, als Karl IV, gestützt auf Erfahrungen, die er selbst in Paris gemacht hatte, die erste deutsche Universität in Prag (1348) begründete. Noch in demselben Jahrhundert wurden die Universitäten zu Wien (1365) und Heidelberg (1386) ins Leben gerufen. Auch die deutschen Städte wollten nicht zurückstehen. Unter ihnen sind vor allem Köln und Erfurt zu nennen, weil sie gleichfalls noch im 14. Jahrhundert in ihren Mauern Hochschulen gründeten.

Die wissenschaftliche Bedeutung dieser Institute war, mit heutigem Maßstabe gemessen, allerdings noch gering. Ihre wichtigste Aufgabe erblickten sie in der Vorbildung der Geistlichkeit. Im Zusammenhange damit war im Universitätswesen der geistliche Einfluß der überwiegende. Die freie Forschung sollte sich an diesen Stätten erst allmählich und mit Überwindung des hartnäckigsten Widerstandes entwickeln. Im 15. Jahrhundert und weit darüber hinaus übte Hand in Hand mit der Kirche die scholastische Philosophie eine fast unbestrittene, jedes freiere Geistesleben einengende Herrschaft aus. Der Universitätsunterricht regte nicht zum Forschen an, sondern er vermittelte wesentlich durch Diktate und Disputierübungen Wortglauben und Autoritätsdünkel.

Durch das Eindringen des Humanismus in Deutschland wurden die deutschen Universitäten wesentlich gehoben. Sie übernahmen die Pflege jener neuen Richtung, wodurch ein freierer Zug in die bisherigen Stätten scholastischen Gezänkes, theologischer Disputierwut und Unduldsamkeit kam. Am erfreulichsten trat dieser günstige Einfluß in der Um- und Fortbildung des Unterrichts in die Erscheinung. Man schuf bessere Lehrbücher, ersetzte das Diktieren und Auswendiglernen durch fleißige Lektüre der durch bessere Textkritik geläuterten, alten Schriften und kehrte mit offenerem

[1]) Lindner, Weltgeschichte IV. S. 291.

Blick zu den Erscheinungen zurück, welche Natur und Menschenleben darboten. Auch das Emporblühen einer volkstümlichen Kunst wirkte in dem Deutschland des 15. Jahrhunderts befreiend und fördernd[1]). Erlebte doch Deutschland damals in Albrecht Dürer eine Verbindung von Kunst und Wissenschaft, wie wir sie in Italien an Lionardo da Vinci bewundern.

Die hervorragendsten unter den Humanisten Mitteleuropas waren Agricola, Erasmus von Rotterdam, welcher die erste griechische Ausgabe des neuen Testaments bewerkstelligte, Reuchlin, der die hebräischen Studien ins Leben rief, und Melanchthon. Letzterer entfaltete eine ähnliche Tätigkeit wie Rhabanus Maurus und hat deshalb in der Geschichte des Bildungswesens gleichfalls den Ehrentitel eines Praeceptor Germaniae erhalten. Er setzte sich vor allem das Ziel, in der Philosophie eine ähnliche Reformation durch das Zurückgehen auf die echten Schriften des Aristoteles zu bewirken, wie sie Luther in der Theologie dadurch herbeizuführen suchte, daß er einzig und allein das reine Evangelium als die wahre Quelle des religiösen Glaubens hinstellte[2]).

In Deutschland wurde Wittenberg zum Mittelpunkt des Humanismus. Von hier ging auch, durch letzteren gefördert, diejenige freiere Gestaltung des religiösen Lebens aus, die für das mittlere und nördliche Europa einen Aufschwung von nie gesehenem Umfang einleiten sollte. Hatte doch bis dahin die hierarchische Gewalt nicht nur die Normen für den Glauben, sondern alle weltlichen Einrichtungen und Anschauungen beherrscht. Daß diese Gewalt ins Wanken geriet, mußte nicht nur in den Zuständen jener Zeit, sondern auch im Reiche der Gedanken eine unermeßliche Veränderung hervorbringen[3]). Zu diesen beiden Elementen, der Renaissance, welche erst wieder „das Auge für den Menschen und für die Dinge öffnete"[4]) und als das Grundelement bezeichnet werden muß, und zu der Reformation trat die Naturwissenschaft hinzu, um im Verein mit ihnen die Weltanschauung und die Welt von Grund aus umzugestalten. An die Stelle der Lehre wurde die Forschung und an die Stelle des Himmels die veredelte Weltlichkeit gesetzt. Die Verheißung lautete nicht mehr „Unsterblichkeit", sondern „ewiger Ruhm"[5]).

---

1) Lindner, Weltgeschichte IV. S. 314.

2) Lange, Geschichte des Materialismus I. S. 189.

3) J. Ranke, Die Geschichte des Zeitalters der Reformation. IV. 4.

4) A. Harnack, Geschichte d. Akademie der Wissensch. z. Berlin. S. 3.

5) Harnack, l. c. S. 3.

Der Angriff des Humanismus gegen die Scholastik ging besonders von Erasmus von Rotterdam aus. Er machte den Kampf gegen die Scholastiker der Klöster und der Universitäten zu seiner Lebensaufgabe. Sein „Lob der Narrheit" ist voll Spott und Bitterkeit gegen die Fesseln, welche die Philosophie und die Theologie jener Zeit beengten und jede freie Regung erstickten[1]). Das Büchlein, das in zahllosen Auflagen erschien und in viele Sprachen übersetzt wurde, hat besonders dazu beigetragen, dem 16. Jahrhundert eine antiklerikale Richtung zu geben[2]). Mit dem populären Angriff verband Erasmus den gelehrten. Wie die Humanisten Italiens forderte er, man solle die Wissenschaften aus den Schriften des Altertums erlernen, so die Naturgeschichte aus Plinius, die Erdbeschreibung aus Plato, die Gottesgelehrtheit nicht aus den Kirchenvätern, sondern aus dem neuen Testamente usw. Es war also noch kein Kampf gegen den Autoritätsglauben, der mit den Humanisten anhob, sondern zunächst nur ein Zurückgehen auf ursprüngliche, reinere Quellen. Indes schon diese Wandlung, obgleich so maßvoll in ihren Zielen, ging nicht ohne den heftigsten Widerstand von seiten der kirchlichen Scholastiker vor sich. Mit welcher Erbitterung gekämpft wurde, zeigt uns der Lebensgang eines Hutten. Daß es den Führern an Siegeszuversicht und an Begeisterung für die große Sache nicht fehlte, bekundet uns derselbe Hutten durch sein bekanntes Wort: „O Jahrhundert, die Studien blühen, die Geister erwachen; es ist eine Lust zu leben." Dieses Erwachen der Geister machte sich indes zunächst weniger durch Neuschöpfungen geltend, als dadurch, daß man den Unterricht naturgemäßer gestaltete und auf wertvolleren Grundlagen errichtete, sowie vor allem dadurch, daß das ausschließlich kirchliche Denken, die „hierarchische Weltansicht", wenn auch nicht gebrochen, so doch eingeschränkt und daneben wenigstens die Duldung anders gearteter Ansichten erkämpft wurde. An das Zeitalter des Humanismus schloß sich für die Naturwissenschaften fast unvermittelt die Periode an, die auch den alten Schriftstellern keine Autorität zuerkannte, überhaupt mit der Autorität völlig brach und an ihre Stelle die freie, unabhängige Forschung des Individuums setzte. Diese Periode wird in Deutschland vor allem durch Koppernikus und durch Paracelsus, sowie durch die Begründung der neueren Naturbeschreibung (Brun-

1) Das „Lob der Narrheit" (Encomium moriae) fand in Holbein einen seiner Bedeutung würdigen Illustrator.

2) Ranke, a. a. O. S. 178.

fels, Bock, Geßner und Agricola) verkörpert. Mit dem Wirken dieser Männer werden wir uns in den nächsten Abschnitten eingehend zu befassen haben.

Die Wiederbelebung der Wissensschätze des Altertums kam auf naturwissenschaftlichem Gebiete vor allem der Astronomie zu gute, für welche selbst die Kirche immer ein, wenn auch zunächst nur praktisches, Interesse bewiesen hatte. Kleriker wie Laien waren nämlich ängstlich darauf bedacht, eine Verschiebung der Fasttage auf profane Tage, wie sie jede Unvollkommenheit des Kalenders mit sich bringen mußte, zu vermeiden. So waren, um ein Beispiel zu erwähnen, die Begleiter Magelhaens in hohem Grade bestürzt, als sich nach der ersten Weltumsegelung bei ihrem Eintreffen in Spanien aus der Schiffsrechnung ergab, daß man um einen Tag hinter dem Kalender zurückgeblieben war und infolgedessen zu unrechter Zeit gefastet hatte. Anfangs glaubte man an einen Irrtum, bis man die Notwendigkeit einer solchen Erscheinung einsah und infolgedessen später die Datumsgrenze einführte [1]).

Bei der Wiederbelebung der naturwissenschaftlichen Forschung spielte in diesem Zeitalter der Kardinal Nikolaus von Cusa eine bedeutende Rolle. Gleich Roger Bacon machte er [2]) Vorschläge zur Verbesserung des Kalenders, sowie der alfonsinischen Tafeln, ohne jedoch damit durchzudringen. Nikolaus von Cusa wurde im Jahre 1401 zu Cues an der Mosel als Sohn eines armen Fischers geboren. Seiner Begabung wegen fand er Unterstützung, studierte in Padua und zeichnete sich durch große, mit gewandtem Wesen vereinigte Gelehrsamkeit aus. In päpstlichem Auftrage kam er nach Konstantinopel und brachte von dort wertvolle griechische Manuskripte nach Italien. Hier war er auch mit dem fast gleichaltrigen Paolo Toscanelli (geb. 1397 zu Florenz) bekannt geworden, welcher, durch die alten Schriftsteller angeregt, die beobachtende Astronomie auf europäischem Boden zu neuem Leben erweckte. Toscanelli hatte im Dome zu Florenz einen Gnomon angebracht, mit dem er die Kulmination der Sonne auf die Sekunde genau zu ermitteln vermochte. Die Einrichtung bestand in einer Platte, die sich 270 Fuß über dem Boden des Domes befand. Sie besaß eine Öffnung, durch welche ein Sonnenstrahl fiel. Nikolaus von Cusa zählte zu den Schülern Toscanellis.

[1]) Peschel, Geschichte der Erdkunde. 1877. S. 386.
[2]) Auf dem Konzil zu Basel im Jahre 1437.

In Italien wurde Nikolaus von Cusa mit den aristotelischen Schriften im griechischen Original bekannt, und zwar geschah dies zu einer Zeit, als man in Deutschland nur die arabisch-lateinischen Bearbeitungen des Aristoteles kannte. Die Folge war, daß Nikolaus von Cusa an der Ausbreitung des Humanismus in seiner deutschen Heimat den hervorragendsten Anteil nahm. Im Verein mit dem Papste Nikolaus V. bemühte er sich, griechische Werke durch Übersetzung ins Lateinische allgemein zugänglich zu machen. So hat er an der Herausgabe des Archimedes auf Grund des griechischen Originals hervorragenden Anteil genommen. Bei seiner Beschäftigung mit Mathematik, Mechanik und Astronomie knüpfte er überall an Euklid, Archimedes und andere alte Schriftsteller an. Er war es auch, der zuerst unter den Neueren die eingewurzelte Ansicht, daß die Erde der Mittelpunkt der Welt sei, erschütterte. Nach seiner Lehre ist sie ein Gestirn und befindet sich, wie alles in der Natur, in Bewegung.

Gleich einer Stelle aus dem Dialog des Galilei mutet es uns an, wenn Nikolaus v. Cusa[1]) schreibt: „Es ist jetzt klar, daß die Erde sich wirklich bewegt; wenn wir es gleich nicht bemerken, da wir die Bewegung nur durch den Vergleich mit etwas Unbeweglichem wahrnehmen.“ Auf den Gedanken, daß die Fixsterne ein solches Unbewegliches sind, kommt Nikolaus v. Cusa indessen nicht. Er würde sonst den Kern der kopernikanischen Lehre vorweg genommen haben. „Wüßte jemand nicht,“ so fährt er fort, „daß das Wasser fließt und sähe er das Ufer nicht, wie würde er, wenn er in einem auf dem Wasser dahingleitenden Schiffe steht, bemerken, daß das Schiff sich bewegt? Da es daher jedem, er mag auf der Erde, der Sonne oder einem anderen Sterne sich befinden, vorkommen wird, als stände er im unbeweglichen Mittelpunkte, während alles um ihn her sich bewege, so würde er in der Sonne, im Monde, im Mars stehend, immer wieder andere Pole angeben.“

Die Bewegung der Erde um die Sonne hat Nikolaus von Cusa indessen noch nicht gelehrt. Auch gründen sich seine Behauptungen mehr auf Dialektik, denn auf Beobachtungen und mathematische Schlüsse. Blieb somit sein System[2]) auch weit von der Wahrheit entfernt, so wurde doch zum erstenmal an der durch

1) Cusa, De docta ignorantia. II. 1 u. 2.

2) Nach diesem System wurde der Erde eine dreifache Bewegung beigelegt, diejenige um ihre Achse, um zwei im Äquator befindliche Pole und die Revolutionsbewegung um die Weltpole.

tausendjähriges Bestehen geheiligten Autorität des Ptolemäos gerüttelt und der großen Umwälzung, welche 100 Jahre später durch Koppernikus auf dem Gebiete der Astronomie eintrat, vorgearbeitet[1]).

Auch um die Kartographie hat Nikolaus von Cusa sich Verdienste erworben. Sogar der Versuch eine Weltkarte zu entwerfen, rührt von ihm her. Er bediente sich dabei der Kegelprojektion. Seine Karte, die während der Renaissancezeit sehr geschätzt wurde, ist noch in mehreren Exemplaren erhalten[2]). Auch mit mechanischen Dingen hat sich Nikolaus von Cusa beschäftigt. So erdachte er zur Bestimmung der Tiefe eines Gewässers ein Bathometer. Eine leichte Kugel sollte mit einem Gewichte beschwert und dadurch zum Untersinken gebracht werden. Beim Berühren des Bodens sollte sich das Gewicht loslösen und die Kugel emporsteigen. Aus dem für beide Bewegungen erforderlichen Zeitaufwand sollte man dann die Tiefe des Gewässers berechnen. Nikolaus von Cusa ist einer der ersten gewesen, der verlangte, man solle bei allen Untersuchungen messend verfahren. Er knüpft diese Bemerkung an seine Betrachtungen über die Wage[3]) und erläutert sie durch Beispiele. So heißt es, man könne leicht feststellen, ob die Pflanzen ihre Nahrung aus der Luft oder aus dem Boden bekämen. Man brauche nur die Samen und die erforderliche Menge Erde abzuwägen und die Wägung nach dem Heranwachsen der Pflanze zu wiederholen. Solche Anregungen blieben jedoch zunächst noch vereinzelt. Sie wurden oft von denen, die sie aussprachen, nicht einmal verfolgt. So sollten noch zwei Jahrhunderte verfließen, bis Stephan Hales als der Erste die Methode des Wägens und des Messens in ausgedehnten Versuchsreihen auf pflanzenphysiologische Vorgänge anwandte.

Ein ähnliches Verhältnis wie zwischen dem Cusaner und Koppernikus begegnet uns auf dem Boden Italiens zwischen

---

1) Über „Nikolaus von Cusa und seine Beziehungen zur mathematischen und physischen Geographie“ äußert sich Günther in den Jahrbüchern über die Fortschritte der Mathematik (Jahrg. 1899) mit folgenden Worten: „Er zertrümmerte die Kristallsphären der Griechen, verkündete die Wesensgleichheit der Erde mit anderen Weltkörpern, lehrte die Bewegung der Erde und entwarf als erster unter den Neueren eine Landkarte in richtigem geometrischem Netz.“

2) Max Jacobi, Das Weltgebäude des Kardinals Nikolaus von Cusa. Ein Beitrag zur Geschichte der Naturphilosophie und Kosmologie in der Frührennaisance. Berlin 1904.

3) De staticis experimentis Dialogus.

Lionardo da Vinci und Galilei, der gleich Koppernikus als Stern erster Größe am Himmel der Wissenschaft erglänzt. Lionardo da Vinci wurde im Jahre 1452 in der Nähe von Florenz geboren. Da er frühzeitig künstlerische Begabung zeigte, führte ihn sein Vater einem Meister zu, bei dem er malen und modellieren, sowie Metall gießen und Gold schmieden lernte. Ein späterer Kunsthistoriker[1]) erzählt, Lionardo sei die Darstellung einer kleinen Nebenfigur auf dem Gemälde dieses Meisters in solchem Grade gelungen, daß dieser sich verschworen habe, keinen Pinsel mehr anzurühren, weil ihn ein Knabe übertroffen. Im beginnenden Mannesalter entwickelte Lionardo eine Vielseitigkeit sondergleichen. Er vereinigte mit körperlichen Vorzügen ungewöhnliche Verstandesschärfe und Genialität des künstlerischen Wirkens. Als Architekt, Bildhauer und Maler hat er Werke von unübertroffener Schönheit geschaffen[2]).

Der Herzog Ludwig Sforza zog Lionardo nach Mailand. Den Anlaß dazu bot ein Sieg, den letzterer als Violinspieler in einem musikalischen Wettstreit errungen hatte. Und wie lohnte der Künstler die fürstliche Gunst! Er beteiligte sich mit Eifer an dem Bau des Mailänder Domes und gründete, indem er schon damals seine Vorliebe für die mathematisch-naturwissenschaftliche Richtung bekundete, eine Art Akademie. Auch die Schöpfung des Abendmahles, jenes Kolossalgemäldes, durch das sich Lionardo mit Raphael und Michel Angelo auf eine Stufe stellte, fällt in die Zeit seines Aufenthalts in Mailand.

Später sehen wir Lionardo da Vinci an verschiedenen Orten seines Vaterlandes als Ingenieur und Architekt mit Arbeiten großen Umfangs, wie Kanalbauten, der Anlage von Befestigungswerken, sowie der Anfertigung von Maschinen aller Art — selbst Flugmaschinen fehlen nicht — beschäftigt. Aus dieser, auf das Praktische gerichteten Tätigkeit erklärt es sich, daß er viel über mechanische Probleme nachgedacht und Schriften darüber verfaßt hat, die allerdings infolge ungünstiger Umstände die Entwicklung der Wissenschaften wenig beinflußt und erst in neuerer Zeit ihre Würdigung gefunden haben[3]). Diese Aufzeichnungen enthalten nämlich manche bemerkenswerten Ansätze, die zu den Arbeiten Galileis hinüber-

[1]) Vasari.

[2]) Lindner, Weltgeschichte. IV. 288.

[3]) Libri, histoire des sciences mathématiques en Italie. T. III. Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873. S. 12 ff. Zwölf Codices von Lionardos Manuskripten befinden sich

leiten. Bekannt ist Lionardos Ausspruch, daß die Mechanik das Paradies der mathematischen Wissenschaften sei, weil man durch die Mechanik erst zu den Früchten dieser Wissenschaften gelange. Lionardo da Vinci handelt aber auch nach diesem Ausspruch, dessen Bedeutung erst die nächsten Jahrhunderte in vollem Maße gewürdigt haben. So untersucht er die Wirkung des Hebels für den Fall, daß die Kräfte in beliebiger Richtung auf ihn wirken. Die Rolle und das Rad an der Welle werden auf den Hebel zurückgeführt. Ferner werden der freie Fall und der Fall auf der schiefen Ebene in Betracht gezogen, wenn auch hier Galilei die erschöpfende Behandlung vorbehalten blieb [1]). In einigen Äußerungen Lionardo da Vincis lassen sich schon die Keime des Trägheits- und des Energiegesetzes erkennen; so, wenn er sagt, jedes Ding „trachte in seinem gegebenen Zustande zu verharren“ oder der bewegte Körper besitze „Wirkungsfähigkeit“ und „wuchte in der Richtung seiner Bewegung“. Für die einfachen Maschinen sprach Lionardo schon das Prinzip aus, daß die im Gleichgewicht befindlichen Kräfte sich umgekehrt wie die virtuellen Geschwindig-

in der Bibliothek der französischen Akademie. Mit der Veröffentlichung dieses wertvollen Nachlasses wurde aber erst 1881 begonnen: Les manuscrits de Lionarde de Vinci, publiés en facsimilés avec transcription littérale, traduction française etc.

Lionardos Manuskripte waren zwar bekannt. Im Druck erschienen war indessen vor dem Ende des 19. Jahrhunderts nur seine Abhandlung über die Malkunst (1651).

[1]) Unter den alten Schriftstellern, auf welchen Lionardo da Vinci fußt, ist besonders Heron zu nennen. Er findet sich im Codex Atlanticus auch zitiert. W. Schmidt wies darauf hin, daß Ausführungen Lionardos augenfällig mit solchen der Heronschen Pneumatik übereinstimmen (Math. Bibl. [3.] III. 180—187).

Eine genauere Untersuchung über die Quellen, welche Lionardo benützt hat, verdankt man dem französischen Physiker P. Duhem (Études sur Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu. Paris 1906.). Danach hat da Vinci weit mehr gelesen, als es den Anschein hat. Er zitiert nämlich sehr selten. Infolgedessen kann man seine Quellen nur schwer ermitteln.

Auf dem Gebiete der Mechanik stützte sich Lionardo auf Heron, Vitruv und auf die mittelalterlichen Lehrbücher des Jordanus Nemorarius und anderer. Die Lehre vom Erdschwerpunkt und die Gleichgewichtstheorie der Meere läßt sich auf Albert von Sachsen zurückführen, den Lionardo auch gelegentlich zitiert. Bezüglich der Erklärung von Ebbe und Flut stützt sich Lionardo auf den Scholastiker Themon usw. Andererseits hat Lionardo aber auch einen nachweisbaren Einfluß auf Roberval, Cardano, Palissy usw. ausgeübt.

keiten verhalten [1]). Seine klare Auffassung des Beharrungsvermögens bezeugen folgende Sätze [2]): „Keine vernunftlose Sache bewegt sich von selbst.“ „Jeder Impuls neigt zu ewiger Dauer.“

Ferner stellt Lionardo die Möglichkeit des Perpetuum mobile [3]) in Abrede und entwickelt unter Ablehnung aller Wunder- und Geheimkräfte, insbesondere der scholastischen qualitates occultae, den Kraftbegriff in einem ganz modernen, mitunter fast an Robert Mayer anklingenden Sinne. So heißt es bei Lionardo da Vinci: „Kraft ist Ursache der Bewegung und die Bewegung ist die Ursache der Kraft.“ Wenn er letztere eine geistige Wesenheit nennt, die sich mit den schweren Körpern verbinde, so erläutert er dies mit folgenden Worten: „Geistig, sage ich, weil in ihr unsichtbares Leben ist, weil der Körper, in dem sie geboren wird, weder in der Form noch im Gewichte wächst. Die berührte Saite einer Laute bewegt ein wenig eine andere gleiche Saite von gleicher Stimme einer anderen Laute. Du wirst dies sehen durch Auflegen eines Strohhalmes auf die zweite Saite [4]).“

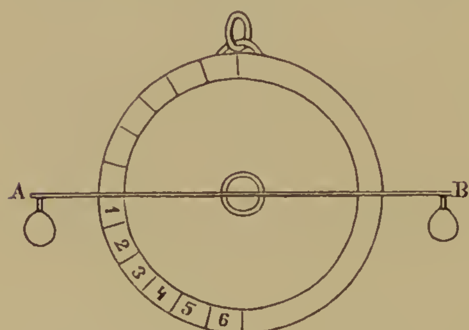


Abb. 45. Lionardos Hygrometer.

Beobachtungen, welche Lionardo beim Wägen hygroskopischer Substanzen machte, führten ihn zur Konstruktion eines, wenn auch noch recht unvollkommenen Hygrometers. An den Enden eines zweiarmigen Hebels brachte er zwei gleich schwere Kugeln an, von denen die eine mit Wachs, die zweite dagegen mit Baumwolle überzogen war. Nahm die Feuch-

1) Siehe auch Lippmann in der Zeitschrift f. Naturwissensch. 72. Bd. S. 291.

2) Eine Zusammenstellung der wichtigsten Sätze aus dem großen, von der französischen Akademie herausgegebenen Manuskriptenwerk Lionardo da Vincis hat Marie Herzfeld unter dem Titel Leonardo da Vinci, der Denker, Forscher und Poet herausgegeben. Jena 1906.

Das Buch M. Herzfelds enthält 745 Notizen Lionardos, welche nach verschiedenen Gesichtspunkten geordnet sind: Über die Wissenschaft; von der Natur, ihren Kräften und Gesetzen; Sonne, Mond und Erde; Menschen, Tiere und Pflanzen; Philosophische Gedanken; Aphorismen, Allegorien; Entwürfe zu Briefen; Allegorische Naturgeschichte; Fabeln; Schöne Schwänke; Prophezeihungen. Bei jeder Notiz ist auf die betreffende Manuskriptstelle hingewiesen.

3) Auch gegen die alchemistischen Bestrebungen wendet sich Lionardo.

4) Manuskript A. Fol. 22 v.

tigkeit der Luft zu, so sank die zweite Kugel. Der Ausschlag konnte auf einer ringförmigen Skala abgelesen werden. Auch die Theorie der Reibung und das schwierige Gebiet der Festigkeitslehre beschäftigten Lionardo da Vinci, der auch auf anderen Gebieten der Naturwissenschaft Anschauungen entwickelte, die ihn als einen seine Zeit und deren Denken überragenden Geist erkennen lassen. So werden von ihm die Versteinerungen, die man bisher meist für Naturspiele hielt, als Überreste von Lebewesen gedeutet. Auf die Versteinerungen und andere geologische Dinge, z. B. die Entstehung der Schichten durch Ablagerung, sowie auf mineralogische Fragen war Lionardo da Vinci gelegentlich der Wasserbauten, die er als Ingenieur ausführte, aufmerksam geworden. Seine Tätigkeit als Künstler hat ihn veranlaßt, sich eingehend mit anatomischen Studien zu befassen. Zu diesem Zwecke setzte er sich mit einem Arzte in Verbindung[1]). Die Frucht der gemeinsamen Tätigkeit des Künstlers und des Naturforschers sind etwa 800 Bilder, die wir als die ersten naturgetreuen anatomischen Zeichnungen ansprechen müssen[2]). Sie betreffen vor allem das Knochen- und das Muskelsystem. Doch sind auch Abbildungen der inneren Organe (Herz, Leber usw.) vorhanden. Aus künstlerischem Drange hat sich Lionardo auch mit der Anatomie des Pferdes beschäftigt[3]).

Bemerkenswert sind ferner seine gelegentlichen Äußerungen über astronomische Gegenstände. Von der Erde heißt es, sie müsse den Bewohnern des Mondes und anderer Gestirne als Himmelskörper erscheinen, auch befinde sie sich nicht im Mittelpunkt

[1]) Lippmann, da Vinci (Zeitschr. f. Naturwissensch. 72. Bd. S. 291).

[2]) Eingehender handelt von der „Anatomie des Lionardo da Vinci" M. Roth im Archiv für Anatomie und Physiologie; Jahrg. 1907. Anat. Abteil. Suppl.-Bd. S. 1—122.

[3]) Mit den biologischen Kenntnissen und Anschauungen Lionardo da Vincis befaßt sich de Toni in seiner Schrift „La Biologia in Leonardo da Vinci". Discorso letto nell' adunanza solenne del R. Istituto Veneto, il 24 maggio 1903". De Toni erblickt den Ausgang der zahllosen Studien Lionardos in der Künstlernatur, die sich in die Gegenstände vertieft, um sie der Wirklichkeit entsprechend darzustellen. In Lionardos anatomischen Tafeln sind nach de Toni die Muskeln stellenweise so genau abgebildet, wie in den besten modernen Werken.

Das gleiche Thema behandelt M. Holl in der Inaugurationsrede „Ein Biologe aus der Wende des 15. Jahrhunderts". Graz 1905. Holl weist besonders auf die methodischen Grundsätze Lionardos hin und erwähnt als solche seine vergleichende Methode, die Anwendung des Experiments, dio Bezugnahme auf die Funktionen des Organismus und die Altersverändorung der Organe usw.

der Sonnenbahn, ebensowenig wie sie die Mitte des Weltalls einnehme. „Die Erde“, heißt es an einer Stelle[1]), ist ein Stern ähnlich wie der Mond.“ Und ferner: „Mache Gläser, um den Mond groß zu sehen“[2]). Man wird an die später von Fechner entwickelten Anschauungen erinnert, wenn man bei Lionardo da Vinci liest, die Erde sei gleichsam ein organisches Wesen, das Meer ihr Herz und das Wasser ihr Blut. Und wenn er schließlich das Wasser als den „Kärrner der Natur“ bezeichnet, so dürfte der moderne Geologe kaum einen treffenderen Ausdruck für die Rolle des flüssigen Elementes finden.

Die Sonne hielt Lionardo für einen sehr heißen Weltkörper. Auch wußte er das sogenannte aschfarbene Licht des Mondes, das wir neben der leuchtenden Sichel wahrnehmen, aus dem Widerschein des von der Sonne auf die Erde gelangenden Lichtes zu erklären.

Leider haben sich die Aufzeichnungen Lionardo da Vincis nirgends zu einer abgeschlossenen, in sich abgerundeten Leistung verdichtet. Es sind meist geistreiche, treffende Einzeleinfälle, die erst die neuere Zeit voll Staunen über die Eigenart des Menschen, dem sie entstammen, der Vergessenheit entrissen hat. Die gelehrte Zunft seiner Zeit würde ihn wohl schwerlich verstanden und gewürdigt haben. Für die Zunft galt in erster Linie die Autorität, die Lionardo mit den Worten geißelt: „Wer sich auf die Autorität beruft, verwendet nicht seinen Geist, sondern sein Gedächtnis.“ „Das Experiment irrt nie“, ruft er den Zeitgenossen zu, „sondern es irren nur eure Urteile“. Auf den Weg, den seiner Meinung nach die Forschung zu gehen hat, weist Lionardo mit folgenden Worten hin: „Wenn gleich die Natur mit der Ursache beginnt und mit dem Experiment endet, so müssen wir doch den entgegengesetzten Weg verfolgen, d. h. wir beginnen mit dem Experiment und müssen mit diesem die Ursache untersuchen“[3]).

Haben Männer wie Lionardo da Vinci[4]) und Nikolaus von Cusa auch keine derartigen Grundlagen für die weitere Entwicklung geschaffen, wie Koppernikus und Galilei, welche das zur Ausführung brachten, wozu jenen das Vermögen fehlte, so er-

1) Manuskript F. Fol. 69.

2) Manuskript C A. Fol. 190 v.

3) Manuskript E. Fol. 55 v.

4) Max Jacobi, Nicolaus von Cusa und Lionardo da Vinci, zwei Vorläufer des Nicolaus Coppernicus. Altpr. Monatsschr. Bd. 39. Heft 3 und 4.

kennen wir doch aus der Betrachtung, die wir ihnen widmeten, daß das Wirken der großen Begründer der Wissenschaft kein unvermitteltes ist und keineswegs mit dem bisher Erstrebten und Erreichten außer Beziehung steht. Jene Großen haben häufig das, was ihre Zeitgenossen zwar ahnten, aber nur unvollkommen zum Ausdruck zu bringen vermochten, in voller Klarheit erfaßt und so begründet, daß es zum unveräußerlichen Besitz der Menschheit wurde. Auf dieser Errungenschaft bauten dann bescheidenere Kräfte weiter, bis ihr unverdrossenes Mühen, das für den Fortgang der Entwicklung aber unumgänglich nötig ist und nicht gering geachtet werden darf, wieder einem der Großen auf dem Gebiete der Wissenschaft den Weg geebnet. So hatte auch die Astronomie, bevor Koppernikus sein Wirken begann, in Deutschland eine besondere Pflege durch Peurbach und Regiomontan gefunden. Diese Männer, welche ihrerseits wieder an die Alten anknüpften, haben Koppernikus besonders dadurch vorgearbeitet, daß sie die Beobachtungskunst förderten.

Die Astronomie war zwar durch Cusa und Toscanelli zu neuem Leben erweckt worden. An Einsicht und an Kenntnissen standen diese Männer jedoch tief unter Hipparch und Ptolemäos. Die astronomische Wissenschaft mußte zunächst wieder auf diejenige Höhe gebracht werden, die sie im Altertum zur Zeit der Alexandriner besaß. Daß dies geschah, war vor allem das Verdienst Peurbachs, des Begründers der beobachtenden und rechnenden Astronomie im Abendlande[1]). Georg Peurbach wurde im Jahre 1423 in Oberösterreich geboren. Als Zwanzigjähriger war er in Rom mit Nikolaus von Cusa in Berührung gekommen. Um 1450 kehrte er nach Wien, wo er studiert hatte, zurück und erhielt dort den Lehrstuhl für Astronomie und Mathematik.

Peurbach übersetzte den Almagest. Er erkannte, daß eine Verbesserung der vorhandenen Planetentafeln die erste Bedingung für jeden weiteren Fortschritt der Astronomie sei. Die Abweichungen, die sich zwischen den alfonsinischen Tafeln[2]) und Peurbachs Beobachtungen ergaben, erreichten für den Mars z. B. Werte von mehreren Graden. Auch die trigonometrischen Tafeln des Almagest erfuhren durch Peurbach eine wesentliche Ver-

[1]) Einen Vorläufer besaß Peurbach in Johann von Gmunden (1380—1442), der vor Peurbach an der Wiener Hochschule lehrte und wohl als der Vater der deutschen Astronomie bezeichnet wurde.

[2]) Alfons X. von Kastilien hatte um 1250 die Ptolemäischen Planetentafeln durch neue Tafeln ersetzen lassen.

besserung, indem er statt der Sehne den Sinus einführte und eine Berechnung für alle Werte von 10 zu 10 Sekunden unter Zugrundelegung eines Radius von 600000 Einheiten lieferte.

Für seine astronomischen Messungen benutzte Peurbach das „Quadratum geometricum" (S. Abb. 46). Dies ist ein quadratischer Rahmen, an dem ein bewegliches Lineal mit Dioptervorrichtungen angebracht war. Die Seiten des Quadrats waren in 120 Abschnitte eingeteilt. Auf diese Weise ließ sich die Tangente des beobachteten Winkels mit ziemlicher Genauigkeit ablesen. Mit dem Almagest, dem Hauptwerk der griechischen Astronomie, war das Abendland zuerst durch die im 10. und 11. Jahrhundert in Spanien entstandenen arabischen Hochschulen bekannt geworden. Der Almagest, die Schriften des Euklid und des Aristoteles wurden von hier aus den Hochschulen des christlichen Abendlandes in lateinischer Übersetzung zugänglich. Durch diese zwiefache Übertragung und die Vermengung mit Zutaten aller Art hatte der ursprüngliche Text natürlich manche Änderung erlitten und viel von seinem ursprünglichen Werte eingebüßt. Auch die Astronomie der Griechen hatte durch die Araber keine wesentliche Förderung, dagegen eine Vermengung mit astrologischen Zutaten erfahren und dadurch an wissenschaftlichem Gehalt Einbuße erlitten. Es war daher ein wichtiges Ereignis, daß im 15. Jahrhundert das astronomische Werk des Ptolemäos von Griechenland nach Italien gelangte. Peurbach war zwar auf das griechische Manuskript aufmerksam

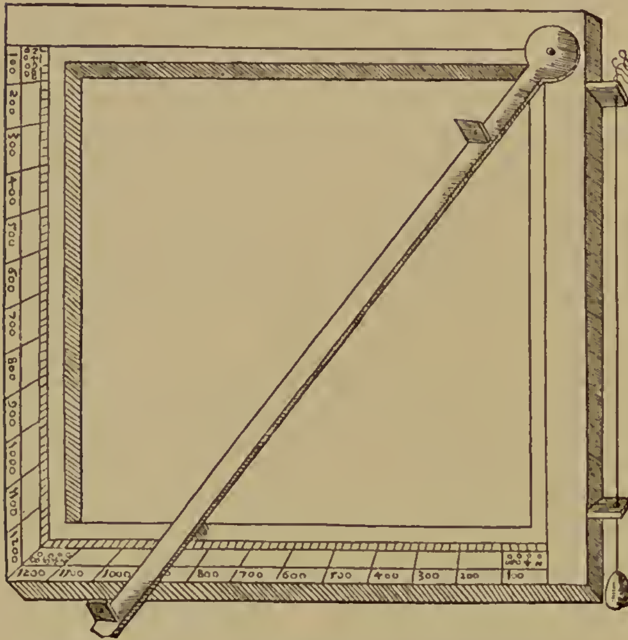


Abb. 46. Peurbachs Quadratum geometricum[1]).

[1]) Repsold, Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge. W. Engelmann, Leipzig 1907. Abt. 7.

geworden[1]). Er benutzte aber dennoch den aus dem Arabischen ins Lateinische übersetzten minderwertigen Text, da er die griechische Sprache nicht verstand. Erst sein begabter Schüler, sein Nachfolger auf dem Wiener Lehrstuhl, Johann Müller aus Königsberg[2]), genannt Regiomontanus (1436—1476) fußte auf dem griechischen Text des Almagest. Regiomontan gab im Jahre 1475 neue Tafeln heraus, die nicht nur für die Astronomie, sondern auch für die Entdeckungsreisen jener Zeit ein wichtiges Hilfsmittel wurden.

Regiomontan war ferner in Deutschland einer der ersten, der das Studium der Algebra förderte. Auch soll er die alte Hypothese von der Erdbewegung, die ihm schon wenigstens 60 Jahre vor Koppernikus zu gleicher Zeit mit Cusa „in den Sinn gekommen sei, zum besseren Verständnis der Astronomie wieder hervorgeholt haben"[3]). In mechanischen Dingen, erzählt sein Biograph[4]) weiter, war er einer der ersten, der „eine künstliche Einrichtung mit Rädern, durch welche die eigentliche Bewegung der Sterne wiedergegeben wurde, zu vieler Verwunderung verfertigte". Ferner stellte Regiomontan einen parabolischen Brennspiegel von fünf Fuß Durchmesser aus Metall her. Regiomontans Tafeln wurden von ihm als „Ephemeriden" bezeichnet. Sie erschienen 1473, umfaßten den Zeitraum von 1473—1560 und enthielten für Sonne und Mond die Längen und außerdem für den Mond die Breiten. Ferner boten sie ein Verzeichnis der für die Zeit 1475—1530 zu erwartenden Finsternisse.

Große Verdienste hat sich Regiomontan auch um die Trigonometrie, die wichtigste Hilfswissenschaft der Astronomie, erworben. Er war es, der die Tangensfunktion, mit welcher die Araber gleichfalls schon vertraut waren, im Abendlande einführte. Ein weiterer Fortschritt bestand darin, daß er sich der dezimalen Teilung bediente, indem er für seine Tangententafeln den Radius r = 100000 zugrunde legte. Unzweifelhaft schöpfte Regiomontan bei seiner Darstellung der Trigonometrie auch aus arabischen Quellen. Doch ist der Zusammenhang im einzelnen nicht mehr

[1]) Die Anregung empfing Penrbach durch den großen Humanisten Bessarion, durch dessen Vermittelung zahlreiche Werke aus Konstantinopel nach Italien gelangten.

[2]) Es handelt sich um einen kleinen Ort dieses Namens in Unterfranken.

[3]) So berichtet Doppelmayr in seinem Werk „Historische Nachrichten" von den Nürnberger Mathematicis und Künstlern. 1730. S. 22.

[4]) Siehe Doppelmayr, a. a. O.

nachzuweisen, da er in der Darstellung wie in der Fortbildung des empfangenen Wissenstoffes sehr selbständig verfuhr. Sein trigonometrisches Hauptwerk „De triangulis“ entstand 1464. Durch letzteres lernte das Abendland den Sinussatz und die Tangensfunktion kennen. Auch entwickelte Regiomontan als erster darin den allgemeinen sphärischen Cosinussatz.

Regiomontans Tafeln waren in den Händen von Bartholomäos Diaz, sowie in denen Vasco da Gamas auf seinem Wege nach Ostindien. Sie halfen Columbus den neuen Weltteil entdecken. Amerigo Vespucci benutzte sie, um 1499 damit Längenbestimmungen in Südamerika auszuführen. So sehen wir, wie dasjenige, was der stille Gelehrte in einsamen Nachtwachen erdacht und erforscht, die kühnen Seefahrer und Konquistadoren befähigte, dem europäischen Teil der Menschheit die Erde in ihrem ganzen Umfange zu erschließen. Trotz der schon um das Jahr 1200 erfolgten Einführung des Kompasses wagten nämlich die Portugiesen, selbst nachdem Heinrich der Seefahrer die Entdeckungsreisen organisiert hatte, zunächst nicht, von der Küstenschiffahrt abzugehen. Viele Jahre kamen ihre Fahrzeuge nicht über Kap Bojador hinaus, weil man dort ein Riff sah, dessen Brandung sich weit ins Meer hinaus erstreckte. Dem Ungewissen, das die Wasserwüste des atlantischen Ozeans in sich barg, vermochte man erst zu begegnen, nachdem die Astronomie der Schiffahrt die zur Ortsbestimmung geeigneten Hilfsmittel verliehen hatte.. Zu diesen gehörte in erster Linie der Kreuzstab (siehe Abb. 47), ein Werkzeug, das zur Messung von Winkeln auf bewegter See

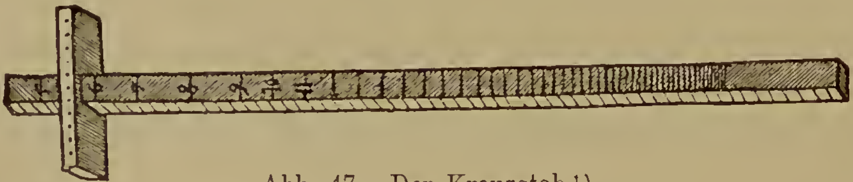


Abb. 47. Der Kreuzstab [1]).

geeigneter war als die von Ptolemäos und Koppernikus benutzten Instrumente, unter denen das mit Kreisteilung versehene Astrolabium [2]) und das parallaktische Lineal an erster Stelle zu

[1]) Repsold, Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge. W. Engelmann, Leipzig 1907.

[2]) Ein mit Gradteilung und Dioptern versehener Ring, in welchem sich eine drehbare, gleichfalls mit Dioptern versehene Scheibe befindet. Eine derartige Vorrichtung wurde schon von Hipparch zum Messen von Winkeln benutzt.

nennen sind[1]. Der Kreuz- oder Jakobsstab mit verschiebbarem Querriegel, den Regiomontan benutzte, besaß eine Länge von $2^1/_2$ Metern. Der Erfinder des Instrumentes ist nicht bekannt. Seine Anwendung hat man bis ins 14. Jahrhundert zurück verfolgen können. Waren die erwähnten Meßinstrumente fest aufgestellt und von hinlänglicher Größe, so ließen sich ziemlich scharfe Messungen damit anstellen. Tycho, dessen Arbeiten infolge ihrer Genauigkeit die Entdeckungen Keplers erst ermöglichten, berichtet, an seinen Astrolabien noch eine sechstel Bogenminute abgelesen zu haben.

Wahrscheinlich ist der Deutsche Martin Behaim (1459—1506), dem man den ersten Erdglobus verdankt, auch derjenige, welcher die Tafeln Regiomontans und den Kreuzstab nach Portugal gebracht und letzteren zu Messungen auf bewegter See empfohlen hat[2]. Aus Abbildung 48 ersehen wir den Gebrauch dieses Instrumentes. Der Querstab a wurde so lange verschoben, bis das am Ende des Längsstabes b befindliche Auge die beiden Gegenstände, deren Winkelabstand gefunden werden sollte, über die Enden von a anvisierte; b trug eine Skala, von der man unmittelbar die jeder Stellung entsprechenden Winkel ablesen konnte. Mit einiger Zuverlässigkeit vermochte man indes um diese Zeit nur die geographische Breite zu bestimmen. Hinsichtlich der Länge mußte man sich mit einem Abschätzen begnügen. Die enge Beziehung, in welche zu Beginn des neueren Zeitalters die Astronomie zur Nautik trat, war beiden Gebieten sehr förderlich. Während der nächsten Jahrhunderte wurde die Mitarbeit der Astronomen außerdem durch hohe Belohnungen angeregt, welche die Schiffahrt treibenden Nationen auf die Lösung praktisch wichtiger Auf-

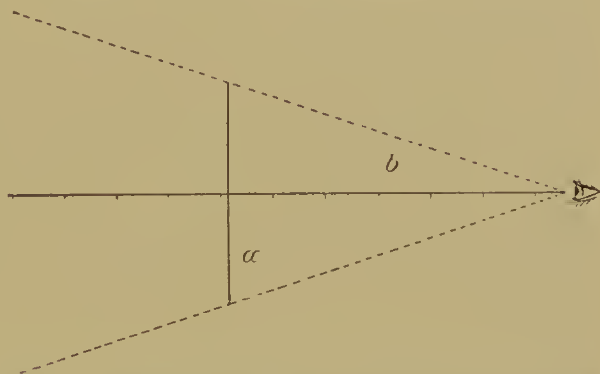


Abb. 48. Schematische Erläuterung des Kreuzstabes.

[1] Montucla, Histoire des Mathématiques. Paris. An VII. Tome I. p. 307.

[2] Breusing in der Zeitschrift für Erdkunde. Berlin 1868. Über Behaims Globus, sowie andere Globen aus dem Zeitalter der großen Entdeckungsreisen siehe: Matteo Fiorini, Erd- und Himmelsgloben, ihre Geschichte und Konstruktion; frei bearbeitet von S. Günther, Leipzig 1895. Kapitel V.

gaben setzten. Geister ersten Ranges, wie Galilei und Euler, verschmähten es nicht, ihre Arbeit in den Dienst dieser Sache zu stellen.

Die Anregung zu den Entdeckungsreisen ist aber nicht nur auf die Fortschritte der Astronomie und die Bedürfnisse des Handels, sondern auch auf die Lektüre der alten Schriftsteller zurückzuführen. Insbesondere gilt dies von Columbus. Die von den Alten herrührenden Nachrichten, welche die allmähliche Ausdehnung ihres geographischen Horizontes erkennen lassen, waren ihm durch das Weltbuch Alliacos[1]) geläufig geworden. Je weiter die Alten die östlichen Grenzen Asiens hinaus verlegt hatten, um so größer war die Wahrscheinlichkeit, daß eine Fahrt nach Westen bald zu bewohnten Ländern führen würde.

Dieser Gedanke erfüllte außer Columbus besonders den italienischen Astronomen Toscanelli, dessen Lieblingsprojekt die Verbindung Europas und Asiens auf dem Seewege nach Westen war. Toscanelli war der Meinung, daß die asiatische Küste höchstens 120 Längengrade von Lissabon entfernt sein könne. Er stand mit Columbus in Briefwechsel und hat ihn in einem Schreiben vom 25. VI. 1474 von der Durchführbarkeit des Gedankens, der ihn erfüllte, zu überzeugen gewußt. Nach allem, was an eigenen und fremden Überlegungen, von denen sich Columbus leiten ließ, bekannt geworden, muß man seine Entdeckungsreisen über alle früheren Unternehmungen dieser Art stellen. Welche Schwierigkeiten es zu überwinden galt, braucht hier nicht des näheren erörtert zu werden. Erinnert sei nur an die Versammlung zu Salamanca, welche den Plan des Columbus prüfen sollte. Was mag letzterer wohl empfunden haben, als man ihm entgegenhielt, wenn es auch gelingen sollte, zu den seiner Ansicht nach vorhandenen Gegenfüßlern hinunter zu fahren, so würde es doch unmöglich sein, wieder nach Spanien hinauf zu gelangen?

Daß sich trotz des gelehrten, am Buchstaben klebenden Dünkels, der nicht etwa nur diese Versammlung erfüllte, das Neue siegesreich Bahn brach, ist vor allem der Erfindung der Buchdruckerkunst, sowie dem Umstande zu verdanken, daß man im Latein

1) Pierre d'Ailly (Petrus de Alliaco) lebte von 1350 bis 1420. Er war ein hoher kirchlicher Würdenträger. In seinem Weltbuch (Imago mundi) findet sich die schon von Roger Bacon geäußerte Ansicht, Asien erstrecke sich soweit nach Osten, daß seine Küste von Spanien aus in wenigen Tagen zu erreichen sei (Tschackert, Peter von Ailly, Gotha 1877. S. 335).

eine Weltsprache besaß, die einen raschen Anstausch der Gedanken zwischen den Angehörigen der verschiedenen Völker ermöglichte.

Es war um 1450, als Gutenberg das erste, mit beweglichen Lettern hergestellte Buch herausgab. In Paris, in Nürnberg und an anderen Orten entstanden darauf große Druckereien, welche für die damalige gelehrte Welt arbeiteten. Mit der Ausbreitung des Buchdruckes verringerte sich allmählich der Abstand zwischen dem zunftmäßigen Gelehrten- und dem Laientum. Die Errungenschaften des Forschens und Denkens wurden immer mehr zu einem Gemeingut.

Eins der glänzendsten Beispiele für die Vereinigung geistigen und gewerblichen Schaffens und für das Zusammengehen des gebildeten Bürgertums mit Künstlern und Gelehrten bot vor allem Nürnberg, wo vorübergehend auch Regiomontan und Behaim wirkten. Für Regiomontan errichtete ein Nürnberger Kaufherr mit fürstlicher Freigebigkeit eine Sternwarte, die von hervorragenden Mechanikern mit Astrolabien, Armillarsphären und anderen astronomischen Instrumenten ausgerüstet wurde. Öffentliche Vorträge belebten das Interesse für die Mathematik und die Naturwissenschaften. Eine im Jahre 1470, kurz vor der Ankunft Regiomontans in Nürnberg gegründete Druckerei wurde bald die bedeutendste in Deutschland[1]). Behaim übermittelte die gewonnenen astronomischen Kenntnisse den seefahrenden Völkern. Er hielt sich von 1480—1484 in Portugal auf, zur Zeit, als auch Columbus dort weilte, und war bei den Unternehmungen der Portugiesen eine leitende Persönlichkeit. Es ist sehr wahrscheinlich, daß Diaz, Columbus und da Gama ihm die Bekanntschaft mit den Ephemeriden Regiomontans, sowie manche Belehrung über die Kunst, nach der Beobachtung der Sterne zu segeln, verdanken[2]).

Man darf jedoch neben den gelehrten Deutschen, die hier, wie so oft in der Entwicklung der Wissenschaften, wohl den Gedanken, aber nicht die Tat brachten, den Portugiesen Pedro Nunez von Coimbra nicht vergessen. Er war es, der zuerst ein Werk schuf, in welchem die Nautik auf wissenschaftliche Grundlagen gestellt wurde (De arte atque ratione navigandi). Er war es ferner, der die Genauigkeit der Ablesung an den astronomischen Instrumenten dadurch verbesserte, daß er den nach ihm benannten Nonius einführte.

[1]) Doppelmayr, Historische Nachrichten von den Nürnberger Mathematikern und Künstlern. 1730.

[2]) E. F. Apelt, die Reformation der Sternkunde von N. v. Cusa bis auf Kepler. Jena 1852. S. 58.

Hand in Hand mit der Verbesserung der astronomischen Ortsbestimmung und der Ausdehnung der Entdeckungsreisen nahm auch die Kartographie einen bedeutenden Aufschwung. Ein wichtiger Markstein auf diesem Gebiete der angewandten Wissenschaft ist das Erscheinen der in Zylinderprojektion ausgeführten Weltkarte Georg Merkators im Jahre 1569[1]). Etwa 100 Jahre später erfolgte die wissenschaftliche Begründung der physikalischen Erdkunde durch Bernhard Varenius.

Auch die beschreibenden Naturwissenschaften, die Zoologie und die Botanik erfuhren gegen den Ausgang des Mittelalters manche Förderung. Das Wiederaufleben der alten Literatur, insbesondere das Bekanntwerden mit den zoologischen Schriften des Aristoteles, den man vorher ja nur aus arabischen und lateinischen Bearbeitungen kannte, war auch hier von Einfluß. Noch wichtiger war es aber, daß man sich immer mehr mit offenen Sinnen der eigenen Beobachtung zuwandte und nach naturgetreuer Darstellung des Gesehenen strebte. Erinnert sei nur an die oben erwähnten anatomischen Abbildungen Lionardo da Vincis. Die Ausdehnung des geographischen Gesichtskreises führte dazu, daß man schon gegen den Ausgang des Mittelalters mit zahlreichen neuen Tieren und Pflanzen bekannt wurde. Das Wiederaufleben des wissenschaftlichen Sinnes machte sich auf dem Gebiete der Botanik nicht nur durch die zunehmende Neigung für eigenes Beobachten, sondern auch durch das allmähliche Zurücktreten der Rücksicht auf die Nutzanwendung der Pflanzen geltend. Das Beobachtungsvermögen wurde insbesondere durch zwei Umstände gefördert. Es waren dies die Einrichtung botanischer Gärten und die Anfertigung von Herbarien. Den ersten botanischen Garten der neueren Zeit legte ein venetianischer Arzt[2]) im Jahre 1333 an, nachdem ihm die Republik dazu einen wüsten Platz überlassen hatte. Der erste Universitätsgarten begegnet uns in Padua. Er wurde 1545 gegründet. Einige Jahre später folgte Pisa. Und noch während des 16. Jahrhunderts ahmten viele Universitäten des übrigen Europas das von Italien gegebene Beispiel nach[3]).

Nicht minder wichtig für die Erweckung selbsttätiger Beobachtung und Forschung war das Aufkommen der Herbarien. Ein eigentlicher Erfinder dieser Einrichtung läßt sich wohl nicht an-

1) A. Breusing, Gerhard Kremer, genannt Merkator. Duisburg 1869.

2) Meyer, Geschichte der Botanik. Bd. IV. S. 255.

3) Der Leydener Garten wurde 1577, der Heidelberger 1593 eingerichtet.

geben. Die ersten Nachrichten über umfangreichere Sammlungen getrockneter Pflanzen stammen aus dem 16. Jahrhundert[1]). Die älteste Anweisung zur Einrichtung von Herbarien begegnet uns nach Meyer (Gesch. d. Botanik IV. 267) indes erst zu Beginn des 17. Jahrhunderts. „Im Winter," heißt es dort, „muß man, da fast alle Pflanzen umkommen, die Wintergärten betrachten. So nenne ich die Bücher, in denen man getrocknete Pflanzen, auf Papier geklebt, verwahrt." Ein weiteres Mittel, die Beobachtung anzuregen, waren das Abbilden von Pflanzen und anderen Naturkörpern. Zwar, das Altertum hatte sich dieses Mittels ebenso bedient wie der Pflanzengärten. Kennt man doch noch heute mit Abbildungen versehene Ausgaben des Dioskorides, die aus dem 5. Jahrhundert stammen. Während des Mittelalters hatte die philologische Gelehrsamkeit und der Autoritätsglauben indessen die Wissenschaft in solchem Maße überwuchert, daß die Kunst, das Studium der Natur durch Abbildungen zu fördern, erst wieder zu neuem Leben erweckt werden mußte.

Zu den ältesten gedruckten Büchern mit Abbildungen von Naturkörpern gehört Konrad Megenbergs Buch der Natur, auf dessen Inhalt wir schon an anderer Stelle eingegangen sind. Megenbergs Buch enthält durch Holzschnitte hergestellte, charakteristische Abbildungen von Säugetieren, Vögeln, Bäumen und Kräutern, unter denen sich z. B. Ranunculus acris, Viola odorata, Convallaria majalis und andere recht gut erkennen lassen. Allerdings fehlt es bei der Beschreibung der Meeresungeheuer, der wunderlichen Menschen und anderer Dinge nicht an Abbildungen, die nur als fratzenhafte Phantasieerzeugnisse gelten können.

Erwähnenswert ist auch der gegen 1485 erschienene „Ortus sanitatis" (Garten der Gesundheit), der zahlreiche, schon kolorierte Abbildungen enthält, von denen manche der Natur ziemlich nahe kommen, während die Abbildungen exotischer Pflanzen meist erfunden sind[2]).

Wir haben hiermit die Betrachtung desjenigen Zeitabschnitts beendet, in welchem das Wiederaufleben der Wissenschaften anhob. Zwar stützte man sich noch auf allen Gebieten auf die seit der Mitte des 15. Jahrhunderts aus reinerer Quelle fließenden Kenntnisse der Alten. Doch gab man sich nicht mehr wie

[1]) E. Meyer, Gesch. der Bot. IV. 273, ist geneigt, den Italiener Luca Ghini, der in Bologna lehrte, als den Erfinder der Herbarien zu betrachten.
[2]) Meyer, Gesch. d. Bot. IV. 284.

früher, gänzlich der Autorität gefangen. Selbstbeobachten, eigenes Forschen wurde in den hervorragendsten Köpfen dieses Zeitalters zum Losungswort. Und wenn auch noch kein neues Gebäude der Wissenschaften erstand, so wurde doch auf allen Gebieten mit den Vorarbeiten begonnen und die Tätigkeit des nachfolgenden Zeitalters erst ermöglicht, dessen Aufgabe es war, die Fundamente der neueren Naturwissenschaft zu legen. Wenn wir uns die hier skizzierte Entwicklung vergegenwärtigen, welche die Wissenschaft seit ihrem Wiederaufleben im 14. und 15. Jahrhundert genommen, so sehen wir, daß sie nicht mehr in solchem Maße wie früher von den Geschicken eines oder weniger Völker abhängt, sondern daß ihr Gang stetiger und weniger als bisher durch gewaltsame Ereignisse der äußeren Geschichte beeinflußt erscheint. Die Geschichte der Wissenschaften ist auch in der Folge nicht mehr so eng mit dem Gange der Weltgeschichte verknüpft wie in den früheren Perioden, wo wir häufig genötigt waren, das Verständnis der Wissenschaftsgeschichte durch Heranziehung der allgemeinen Geschichte zu erschließen.

12. Die Begründung des heliozentrischen Weltsystems durch Koppernikus[1].

Das 16. Jahrhundert war auf allen Gebieten eine Zeit der Vorbereitung. Nur zögernd und langsam, gleichsam tastend entwickelte sich während dieses Zeitraumes die neuere Methode der Naturforschung. Das 17. Jahrhundert bietet uns dagegen das Schauspiel eines nie vorher gesehenen Siegeslaufes unter der Führung eines Galilei, Kepler und Newton. Damals vollzog sich die innige Verschmelzung der Naturwissenschaften mit der Mathematik, sowie die Ausgestaltung einer streng induktiven Forschungsweise. Durch diese beiden Momente wurde ein Umschwung herbeigeführt, wie ihn die Geschichte der Wissenschaften nicht wieder erlebt hat.

Das wichtigste Ereignis des 16. Jahrhunderts ist die Aufstellung des heliozentrischen Weltsystems durch Koppernikus und die hierdurch herbeigeführte Umgestaltung des gesamten Weltbildes. Nikolaus Koppernikus wurde am 19. Februar (alten Stils) des Jahres 1473 in Thorn geboren. Polen und Deutsche haben sich um den Ruhm gestritten, ihn zu den Ihren zählen zu dürfen. Ein solcher Streit ist müßig. Koppernikus war einer der großen Geister, die durch ihr Wirken der Welt gehören. Tatsache ist, daß Thorn zur Zeit seiner Geburt unter polnischer Oberhoheit stand, im übrigen aber, was den gebildeten Teil der Bevölkerung anbetraf, eine deutsche Stadt war. Die Mutter des Koppernikus ist deutscher Abkunft gewesen. Über die Stammeszugehörigkeit des Vaters läßt sich dagegen keine sichere Entscheidung treffen. Soviel ist jedoch gewiß, daß Koppernikus selbst in seinem Fühlen und Denken ein Deutscher war und sich

[1]) Es ist archivalisch festgestellt, daß der Name Koppernigk lautete. Das Titelblatt des 1543 in Nürnberg gedruckten Werkes enthält zwar den Namen Copernicus. Es scheint hier aber ein Versehen des Herausgebers (Rheticus) vorzuliegen. Die richtige Schreibweise würde Coppernicus oder Koppernikus lauten. Siehe Max Jacobi „Koppernikus oder Kopernikus“. Artikel in der „Täglichen Rundschau“ v. 14. 8. 1907.

in allen Dokumenten, die auf uns gelangt sind, wenn er nicht Latein schrieb, der deutschen Sprache bediente.

Nachdem Koppernikus das Vaterhaus verlassen, bereitete er sich in Krakau für den medizinischen Beruf vor. Bei der Vielseitigkeit, mit der man in früheren Jahrhunderten die Universitätsstudien betrieb, wurde er indes auch mit der Mathematik und mit der Astronomie vertraut. Auf letzterem Gebiete genoß die Universität Wien, wo Peurbach und Regiomontan gelehrt hatten, einen vorzüglichen Ruf. Dorthin begab sich deshalb nach Beendigung seiner medizinischen Studien der spätere Reformator der astronomischen Wissenschaft. Zum Glück für letztere war Koppernikus nicht gezwungen, sofort dem ärztlichen Berufe nachzugehen. Er war nämlich dadurch günstig gestellt, daß sein Oheim mütterlicherseits, der Bischof von Ermeland, sich seiner annahm und ihm später eine Domherrenstelle des Frauenburger Kapitels verschaffte. Von 1495—1505 hielt sich Koppernikus meist in Italien auf. Dort war im Zeitalter der Renaissance die Astronomie emporgeblüht. In Florenz war unter den Mediceern die erste Akademie nach platonischem Vorbild entstanden. Sternwarten wurden errichtet und Lehrstellen geschaffen. In Italien hatte auch Nikolaus von Cusa seine Anregungen empfangen und sie von dort nach Deutschland verpflanzt. Diesem Vorbild folgte Koppernikus, indem er sich in Italien fast ein Jahrzehnt in der praktischen Astronomie vervollkommnete. Doch ist aus diesem langen Abschnitt seines Lebens, der für die Entwicklung seiner wissenschaftlichen Vorstellungen ohne Zweifel von großer Bedeutung gewesen ist, sehr wenig bekannt geworden. Auch von den astronomischen Hilfsmitteln, deren sich Koppernikus bediente, weiß man nur wenig. Jedenfalls besaßen sie keinen hohen Grad von Genauigkeit. Wie die astronomischen Instrumente im Zeitalter des Koppernikus beschaffen waren, erfahren wir aus dem von dem Astronomen Appian[1]) um jene Zeit verfaßten „Instrument Buch“.

Der Gedanke, der seinem System zugrunde liegt, bemächtigte sich des Koppernikus, sobald er in der Blütezeit des Mannesalters selbständig forschend an die Natur herantrat. Diesen Ge-

[1]) Appian lebte von 1495—1552. Er wurde von Kaiser Karl V. hoch geschätzt und verfertigte für diesen eine Maschine, durch deren Bewegung man den Lauf der Planeten darstellen konnte. Auch empfahl er, dunkle Gläser zur Beobachtung der Sonne, in der Hoffnung, auf diese Weise den Vorübergang von Venus und Merkur beobachten zu können. Auch der Vorschlag, die Monddistanzen zur Bestimmung der geographischen Länge zu benutzen, rührt von Appian (Cosmographia, § 5) her.

danken zu verfolgen und zu begründen, erschien ihm als eine Aufgabe, wohl wert, sein ganzes übriges Leben in stiller Forscherarbeit ihr zu widmen. Seit der im Jahre 1505 erfolgten Rückkehr aus Italien bis zu seinem Tode am 24. Mai des Jahres 1543 verblieb er deshalb, von einigen kleinen Reisen abgesehen, in seinem Bistum. Ein beschauliches Leben hat Koppernikus jedoch in dieser Zurückgezogenheit nicht geführt. Die Zeit, welche ihm die mit dem Domherrnamt verbundenen Pflichten übrig ließen, war der Armenpraxis in Frauenburg und der sorgfältigen Ausarbeitung jenes großen Werkes gewidmet, in dem er seine Theorie, sowie die jahrelangen Beobachtungen, auf welche er sie stützte, niedergelegt hat. Das für die neuere Astronomie grundlegende Hauptwerk des Koppernikus erhielt den Titel „Über die Kreisbewegungen der Himmelskörper". In der an den Papst gerichteten Vorrede wird der Anlaß zu dem Werke und seine Geschichte mitgeteilt. Wir erfahren daraus, daß die Schrift „bis in das vierte Jahrneunt hinein"[1]) verborgen blieb, bis sie zum Druck gelangte. Obgleich Koppernikus um das Jahr 1530 den Ausbau der heliozentrischen Lehre beendet hatte, schwankte er, ob er mit seinen Ansichten an die Öffentlichkeit treten sollte. „Die Verachtung", sagt er, „welche ich wegen der Neuheit und der scheinbaren Widersinnigkeit meiner Meinung zu befürchten hatte, bewog mich fast, das fertige Werk beiseite zu legen."

Jedoch hatten befreundete Astronomen, sowie Geistliche, die sich für die Astronomie interessierten, Kenntnis von dem Werk erhalten. Ihrem Drängen nach Veröffentlichung setzte Koppernikus nicht nur aus dem erwähnten Grunde anfangs Widerstand entgegen, sondern er zögerte auch, weil ihn der Wunsch beseelte, wirklich Besseres an die Stelle des Vorhandenen zu setzen. Kam es doch vor allem darauf an, der beobachtenden Astronomie einen Dienst zu leisten und ihr das neue Lehrgebäude in einem solch vollkommenen Zustande zu übermitteln, daß es an die Stelle des alten, mit den praktischen Bedürfnissen eng verwachsenen Systems treten konnte. Von einem völligen Gelingen blieb Koppernikus, wie er wohl selbst am besten wußte, jedoch noch weit entfernt. Auch mochte er wohl ahnen, welchen Sturm sein Versuch entfesseln sollte. Galt es doch, einer seit Jahrtausenden geheiligten Anschauung den Boden zu entziehen[2]) und an ihre Stelle eine neue

[1]) Anspielung auf das Horazische nonumque prematur in annum.

[2]) „Dem Reformator", sagt Schiaparelli (Die Vorläufer des Koppernikus im Altertum, S. 87), „der ein wesentliches neues Weltschema zur Gel-

Lehre zu setzen, welche der bisher den wesentlichsten Teil der Welt ausmachenden Erde eine nur bescheidene Stelle unter zahllosen Körpern gleichen, ja selbst höheren Ranges einräumte. Ganz zu geschweigen der Gefahr, der eine solche Neuerung ausgesetzt war, als ketzerisch verdammt zu werden.

Erst ein Jahr vor seinem Tode vermochte man Koppernikus zur Herausgabe seiner „Kreisbewegungen"[1] zu bestimmen. Der Gelehrte[2], welcher den in Nürnberg erfolgenden Druck des Buches überwachte, hielt es, ohne von Koppernikus hierzu ermächtigt zu sein, für geraten, in einer besonderen Einleitung das Ganze als eine bloße Hypothese hinzustellen. Daß dies jedoch durchaus nicht im Sinne des Verfassers lag, geht aus der von Koppernikus herrührenden Vorrede deutlich genug hervor. Er sei, sagt er, entgegen der Meinung der Astronomen, ja beinahe gegen den gemeinen Menschenverstand dazu gekommen, sich eine Bewegung der Erde vorzustellen. Zu dieser Annahme habe ihn der Umstand veranlaßt, daß die Astronomen bei ihren Untersuchungen sich über die Bewegungen der Himmelskörper gar nicht einig seien und die Gestalt der Welt und die Symmetrie ihrer Teile bisher nicht hätten finden können. Man habe zur Erklärung der astronomischen Erscheinungen die verschiedensten Arten von Bewegungen angenommen. Die einen bedienten sich nur der konzentrischen, die andern der exzentrischen und epizyklischen[3] Kreise. Doch sei das Erstrebte dadurch nicht erreicht worden. Endlich habe er durch viele und fortgesetzte Beobachtungen gefunden, daß, wenn die Bewegungen der übrigen Wandelsterne auf einen Kreislauf der Erde bezogen und dieser dem Kreislauf jedes Gestirns zugrunde gelegt werde, nicht nur die Erscheinungen der Wandelsterne daraus folgten,

---

tung bringen wollte, konnte es nicht genügen, nur eine allgemeine Idee auseinanderzusetzen, sondern ihm fiel die Pflicht zu, seine Idee bis zu demselben Grade der Vollendung auszuarbeiten, bis zu welchem Ptolemäos die seinige gebracht hatte."

1) Nicolai Copernici Torinensis, de revolutionibus orbium coelestium libri VI. Eine Übersetzung von C. L. Menzzer hat der Koppernikus-Verein zu Thorn im Jahre 1879 herausgegeben.

2) Osiander.

3) In dem Bestreben, die ungleichförmig erscheinenden Bewegungen der Planeten auf gleichförmige Bewegungen zurückzuführen, nahm man an, diese Himmelskörper beschrieben Kreise, deren Mittelpunkt sich gleichzeitig der Peripherie eines zweiten Kreises entlang bewege; die so entstandenen Linien nennt man Epizyklen.

sondern daß dann auch die Gesetze und Größen der Gestirne und ihre Bahnen so zusammenhingen, daß in keinem Teile des Systems ohne Verwirrung der übrigen Teile und des ganzen Weltalls irgend etwas geändert werden könne. Die Astronomen möchten die neue Lehre prüfen und er zweifle nicht, daß sie ihm beipflichten würden. Damit aber Gelehrte und Ungelehrte sähen, daß er durchaus niemandes Urteil scheue, so wolle er sein Werk lieber dem Papste als irgend einem andern widmen.

Die Anregung zu seinem System empfing Koppernikus offenbar aus den Schriften der Alten. Nachdem er über die Unzulänglichkeit der bestehenden Theorien nachgedacht, durchforschte er alle Schriften, deren er habhaft werden konnte, um festzustellen, ob nicht irgend jemand einmal andere Ansichten als die herrschenden über die Bewegungen der Weltkörper geäußert habe. Da fand er denn zuerst bei Cicero, daß Nicetas geglaubt habe, die Erde bewege sich. Nachher fand er auch bei Plutarch, daß andere ebenfalls dieser Meinung gewesen seien. Hierdurch veranlaßt, fing er an, über die Bewegung der Erde nachzudenken, obgleich diese Ansicht ihm zuerst selbst widersinnig zu sein schien.

Indessen nicht nur unbestimmte Meinungen, sondern auch einen recht brauchbaren Ansatz zu seiner Theorie fand Koppernikus bei den Alten vor. Es war ihm nämlich die Meinung einiger alten Schriftsteller begegnet, daß „Venus und Merkur sich um die Sonne als ihren Mittelpunkt bewegten und deswegen von ihr nicht weiter fortgehen könnten, als es die Kreise ihrer Bahnen erlaubten". Koppernikus nennt Martianus Capella (5. Jahrhundert nach Chr. Geb.) als seinen Gewährsmann. Dieser verlegte gleich anderen Berichterstattern den Ursprung der erwähnten Lehre nach Ägypten. Neuere Forschungen haben jedoch den Beweis geliefert, daß sie auf Herakleites Pontikos, einen Schüler Platons, zurückzuführen ist[1]). Herakleites war auch darin ein Vorläufer des Koppernikus, daß er die tägliche, scheinbare Bewegung der Himmelskugel aus einer Drehung der Erde von West nach Ost erklärte. Ihre Fortsetzung fanden diese Lehren durch Aristarch von Samos. Aristarch[2]) setzte die Sonne, die er für 300 mal so groß wie die Erde hielt, in den Mittelpunkt und ließ die Erde sich in jährlichem Umlauf um die Sonne bewegen. Die heliozentrische Weltansicht war dem Altertum also wohl bekannt. Sie

---

[1]) Schiaparelli, Die Vorläufer des Koppernikus im Altertum, übersetzt von Curtze.

[2]) S. S. 141 d. Bds.

fand sogar den Beifall vieler, trug indes ihrem Urheber, ganz ähnlich, wie es später den ersten erklärten Anhängern des koppernikanischen Systems erging, von gegnerischer Seite eine Anklage wegen Gottlosigkeit ein. Doch konnte die heliozentrische Theorie im Altertum nicht recht Wurzel schlagen, da sie noch nicht imstande war, den Anforderungen der praktischen Astronomie zu genügen. Letztere erblickte ihre Aufgabe ja weniger darin, die beobachteten Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Planeten zu erklären, als sie genau zu messen und im voraus zu bestimmen.

Indem nun Koppernikus von der Ansicht des Martianus Capella ausging und Saturn, Jupiter und Mars auf denselben Mittelpunkt, die Sonne nämlich, bezog, gleichzeitig aber die große Ausdehnung der Bahnen der genannten Planeten berücksichtigte, die außer Merkur und Venus auch die Erdbahn umschließen, gelangte er zu seiner Erklärung der Planetenbewegung. Es stehe nämlich fest, führt er des weiteren aus, daß Saturn, Jupiter und Mars der Erde immer dann am nächsten seien, wenn sie des Abends aufgingen, d. h. wenn sie in Opposition zur Sonne ständen, oder die Erde sich zwischen ihnen und der Sonne befinde. Dagegen seien Mars und Jupiter am weitesten von der Erde entfernt, wenn sie des Abends untergingen, wir also die Sonne zwischen ihnen und der Erde hätten. Dies beweise hinreichend, daß der Mittelpunkt ihrer Bahn die Sonne und somit derselbe sei, um welchen auch Venus und Merkur kreisen. Da somit alle Planeten sich um einen Mittelpunkt bewegen, sei es notwendig, daß der Raum, der zwischen dem Kreise der Venus und dem des Mars übrig bleibe, die Erde mit dem sie begleitenden Monde aufnehme. Er scheue sich daher nicht, zu behaupten, daß die Erde mit dem sie umkreisenden Monde zwischen den Planeten einen großen Kreis in jährlicher Bewegung um die Sonne durchlaufe. Auf solche Weise finde die Bewegung der Sonne in der Bewegung der Erde ihre Erklärung. Die Welt aber sei so groß, daß die Entfernung der Planeten von der Sonne mit der Fixsternsphäre verglichen verschwindend klein sei. Er halte dies alles für leichter begreiflich, als wenn der Geist durch eine fast endlose Menge von Kreisen verwirrt werde, was diejenigen zu tun gezwungen seien, welche die Erde in den Mittelpunkt der Welt setzten.

Koppernikus bringt dann die nachstehend wiedergegebene Abbildung seines Weltsystems und erläutert diese mit folgenden Worten: „Die erste und höchste von allen Sphären ist diejenige der Fixsterne, die sich selbst und alles übrige enthält und daher

unbeweglich ist. Es folgt der äußerste Planet, Saturn[1]), der in 30 Jahren seinen Lauf vollendet; hierauf Jupiter mit einem zwölfjährigen Umlauf; dann Mars, der in zwei Jahren seine Bahn beschreibt. Die vierte Stelle nimmt der jährliche Kreislauf ein, in welchem die Erde mit der Mondbahn enthalten ist. An fünfter Stelle kreist Venus in neun Monaten. Den sechsten Platz nimmt Merkur ein, der in einem Zeitraum von 80 Tagen seinen Umlauf

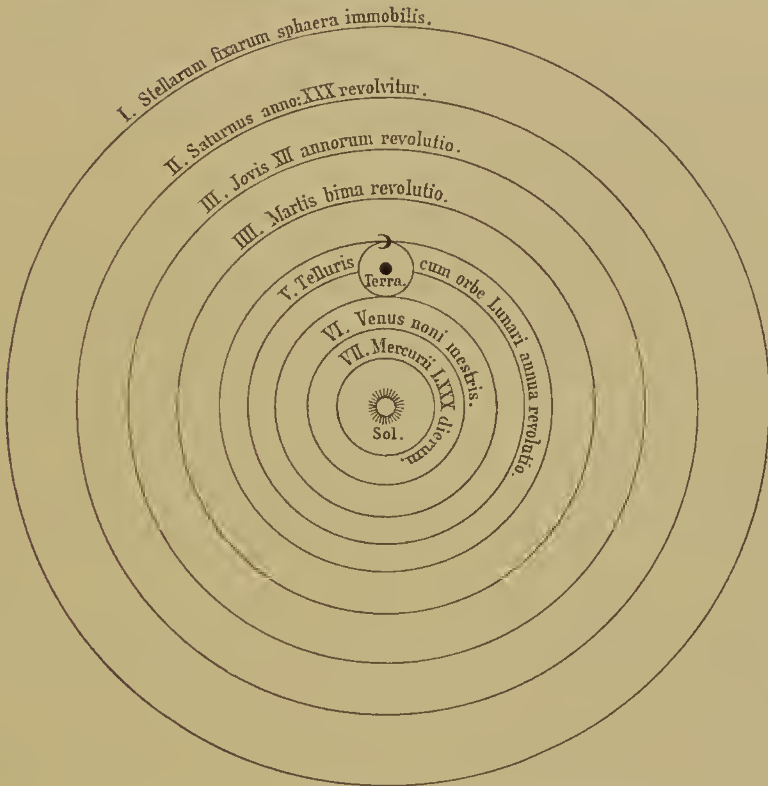


Abb. 49. Das Koppernikanische Weltsystem.
(Aus Koppernikus' Werk über die Bewegung der Weltkörper.)

vollendet. In der Mitte aber von allem steht die Sonne. Denn wer möchte in diesem schönsten Tempel diese Leuchte an einen anderen oder besseren Ort setzen".

„So lenkt in der Tat die Sonne, auf dem königlichen Throne sitzend, die sie umkreisende Familie der Gestirne. Wir finden also in dieser Anordnung einen harmonischen Zusammenhang, wie er anderweitig nicht gefunden werden kann. Denn hier kann man bemerken, warum das Vor- und Zurückgehen beim Jupiter größer erscheint als beim Saturn und kleiner als beim Mars und wieder-

[1]) Die außerhalb des Saturn befindlichen Planeten Uranus und Neptun wurden erst 1781, beziehungsweise 1846 entdeckt.

um bei der Venus größer als beim Merkur. Außerdem, warum Saturn, Jupiter und Mars, wenn sie des Abends aufgehen, der Erde näher sind als bei ihrem Verschwinden in den Strahlen der Sonne. Vorzüglich aber scheint Mars, wenn er des Nachts am Himmel steht, an Größe dem Jupiter gleich zu sein, während er bald darauf unter den Sternen zweiter Größe gefunden wird. Und dies alles ergibt sich aus derselben Ursache, nämlich aus der Bewegung der Erde. Daß aber an den Fixsternen nichts davon in die Erscheinung tritt, ist ein Beweis für die unermeßliche Entfernung dieser Sterne, eine Entfernung, welche selbst die Bahn der Erde oder das Abbild dieser Bahn am Himmel für unsere Augen verschwinden läßt[1]."

Wie die ältere, so entsprach auch die neuere, von Koppernikus entwickelte Theorie den Beobachtungen bei weitem nicht in dem Maße, als ihr Begründer anfangs hoffen mochte. Es lag das daran, daß er gleich den Alten daran festhielt, die Bewegung der Himmelskörper erfolge gleichmäßig und im Kreise. Aristoteles hatte dies gelehrt. Für ihn und alle, die sich nach ihm mit der Astronomie befaßten, Koppernikus eingeschlossen, war dies ein von vornherein feststehender Satz. Die Welt ist kugelförmig, die Erde ist gleichfalls kugelförmig, die Bewegung der Himmelskörper erfolgt gleichmäßig, ununterbrochen und im Kreise. So lauten die Überschriften der wichtigsten Abschnitte des koppernikanischen Werkes. Und warum verhält es sich so? Weil Kreis und Kugel die vollkommensten Formen sind und kein Grund für eine ungleichförmige Bewegung vorliegt, lautet die Antwort. Auch Kepler war, wie wir sehen werden, anfangs in dem erwähnten Vorurteil befangen. Ihm gelang es aber, sich davon frei zu machen. Als er eingesehen, daß die Beobachtungen sich mit den hergebrachten Anschauungen nicht in Einklang bringen ließen, machte er die Annahme, daß sich die Planeten nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen bewegen und daß ihre Bewegung ungleichförmig sei. Jetzt waren alle Widersprüche, in denen die heliozentrische Theorie sich den Beobachtungen gegenüber befand, gelöst, und diese Theorie damit erst lebensfähig geworden. Was ihr Begründer gut zu erklären wußte, waren vor allem das scheinbare Zurückgehen und Stillstehen der Planeten, sowie die Veränderungen in der scheinbaren Größe dieser Himmelskörper, welche besonders beim Mars beträchtlich

[1]) Die hierin liegende Schwierigkeit wurde erst von Bessel gehoben, welcher nachwies, daß die Fixsterne in der Tat infolge der jährlichen Bewegung der Erde ihren Ort, wenn auch in sehr geringem Maße, verändern.

sind. Zur Erklärung anderer Ungleichmäßigkeiten blieb jedoch nichts weiter übrig, als auf die Epizyklentheorie unter Beibehaltung der Sonne als Mittelpunkt des ganzen Systems zurückzugreifen.

Wir erkennen, daß eine neue Wahrheit bei ihrer Entdeckung selten vollendet ist. Sie geht gewöhnlich nicht aus dem Hirn eines einzelnen, sondern als Errungenschaft des Geistes einer Zeit aus den Bemühungen mehrerer, oft sogar zahlreicher Forscher und Denker hervor.

Für die Richtigkeit seines Weltsystems konnte Koppernikus noch keine schlagenden Beweise, sondern nur die größere Einfachheit ins Feld führen. Dem Einwand, daß die jährliche Bewegung der Erde sich in einer scheinbaren Veränderung der Fixsternörter offenbaren müsse, wußte er nur dadurch zu begegnen, daß er diese Himmelskörper in eine Entfernung versetzte, gegen welche der Durchmesser der Erdbahn verschwindend klein sei. Das Einzige, was Koppernikus den Angriffen seiner Gegner gegenüberstellen konnte, waren Gründe der Vernunft. „Es ist“, sagt er, „wahrscheinlicher, daß die Erde sich um ihre Achse dreht, als daß alle Planeten mit ihren verschiedenen Entfernungen, alle herumschweifenden Kometen und das unendliche Heer der Fixsterne dieselbe regelmäßige vierundzwanzigstündige Bewegung um die Erde ausführen“.

Eigentliche Beweise, sowohl für die Drehung als auch für den Umlauf der Erde, haben erst spätere Jahrhunderte gebracht und dadurch die koppernikanische Lehre auf den Rang einer unumstößlichen Wahrheit erhoben[1]). Neben ihrer Einfachheit konnte Koppernikus für seine Theorie wie Aristarch auch den Umstand ins Feld führen, daß die Sonne der bei weitem größere Weltkörper sei. Das Größenverhältnis von Mond, Erde, Sonne ist nach Koppernikus gleich 1 : 43 : 6937[2]). Ferner nahm Koppernikus die Entfernung der Sonne auf Grund von Beobachtungen, die nach dem von Aristarch herrührenden Verfahren angestellt wurden, zu 1197 Erdhalbmessern an. Auch dieses Ergebnis blieb weit hinter der Wahrheit zurück. Erst im 18. Jahrhundert fand man durch Messungen, welche die Vorübergänge der Venus vor der Sonnenscheibe zum Ausgang nahmen, einen zuverlässigen Wert für jenes

[1]) Die Drehung der Erde wurde durch Fallversuche, sowie den Foucaultschen Pendelversuch nachgewiesen, während ihre Fortbewegung im Raume aus der Aberration und der Fixsternparallaxe geschlossen wurde.

[2]) Anstatt 1 : 49 : 1300000.

Grundmaß der Astronomie. Dieser übertraf den von Koppernikus angegebenen Wert fast um das Zwanzigfache.

Das Erscheinen der „Kreisbewegungen“, deren erste Druckbogen Koppernikus noch auf dem Sterbebette gelesen haben soll, veranlaßte durchaus nicht einen solchen Aufruhr unter den Geistern, wie man es in Anbetracht der Wichtigkeit der darin ausgesprochenen Ansichten wohl hätte erwarten können. Dies hatte mehrere Gründe. Die zeitgenössische Astronomie beachtete die Neuerung wenig. Einige dem Koppernikus befreundete Astronomen ausgenommen, hielt man an der Ptolemäischen Lehre fest, zu der man überdies in jener Zeit, die noch keine Lehrfreiheit kannte, verpflichtet war. Ferner gaben die dem neuen System noch anhaftenden Unvollkommenheiten den berufsmäßigen Astronomen, denen der praktische Wert ausschlaggebend sein mußte, ein gewisses Recht, zunächst das Hergebrachte in Geltung zu belassen. Brachte doch das heliozentrische System dem rechnenden Astronomen zunächst kaum nennenswerte Vorteile. Koppernikus hatte es verstanden, seine Neuerung in einer alles Tendenziöse und Polemische ausschließenden Weise vorzutragen und jedes Hinüberspielen auf das Gebiet biblischer und religiöser Anschauungen zu vermeiden. So kam es, daß auch die Kirche, die von einer astronomischen Neuerung wohl eine Verbesserung ihrer Zeitrechnung erhoffte, das Buch, dem ja sogar eine Widmung an den Papst voranging, duldete und dem Gegensatz kein Gewicht beilegte, in den es, vom Standpunkt des starren Wortglaubens aus betrachtet, zur biblischen Überlieferung trat.

„Es scheint mir,“ schrieb Koppernikus in jener Widmung, „daß die Kirche aus meinen Arbeiten einigen Nutzen ziehen kann. War doch unter Leo X. die Verbesserung des Kalenders nicht möglich, weil die Größe des Jahres und die Bewegung der Sonne und des Mondes nicht genau bestimmt waren. Ich habe gesucht, diese näher zu bestimmen. Was ich darin geleistet habe, überlasse ich dem Urteile Deiner Heiligkeit und der gelehrten Mathematiker.“ Der großen Masse, selbst der Gebildeten, fehlte bei der damals herrschenden Unkenntnis in naturwissenschaftlichen Dingen durchaus das Vermögen, mit eigenem Urteil an die neue Lehre heranzutreten. Deshalb läßt sich die Äußerung Luthers wohl entschuldigen, der da meinte: „Der Narr will die ganze Kunst Astronomia umkehren. Aber die heilige Schrift sagt uns, daß Josua die Sonne stillstehen hieß und nicht die Erde.“ Daran, daß diese Neuerung auf dem Gebiete der Astronomie der Kirche schaden,

geschweige denn das religiöse Gefühl beeinträchtigen könnte, hat Luther schwerlich gedacht. Etwas ängstlicher schon war Melanchthon, der auch mehr Verständnis für das Unerhörte jener Neuerung besaß. Selbst ein eifriger Astrologe, hatte er das Gebäude der damaligen Astronomie in seinem Lehrbuch der Physik zur Darstellung gebracht. Die neue heliozentrische Ansicht hielt er für so gottlos, daß er sie zu unterdrücken empfahl[1]). Auch der viel später lebende Francis Bacon, den übertriebene Schilderungen als den Begründer der neueren Naturwissenschaft gefeiert haben, war ein erklärter Gegner des Koppernikus, und zwar zu einer Zeit, als die Frage nach der Richtigkeit des heliozentrischen Systems die Geister bewegte. Erst damals, im Zeitalter Galileis, nahm die Kirche zu dieser Frage entschieden Stellung und verbot die „Kreisbewegungen“. Das bezügliche Verdikt stammt aus dem Jahre 1616 und wurde erst 1822 wieder aufgehoben, nachdem sein Bestehen jedoch fast in Vergessenheit geraten war.

Zu den ersten Anhängern der koppernikanischen Lehre gehörte auch der Dominikanermönch Giordano Bruno[2]), Spinozas Vorläufer in der Begründung einer pantheistischen Weltanschauung. Seinen divinatorischen Blicken erweiterte sich das Fixsterngewölbe zu einem in Raum und Zeit unendlichen Universum. Bruno war auch der erste, der die Fixsterne als Sonnen und als Mittelpunkte ungezählter, dem unseren gleichartiger Planetensysteme ansah. Man hat Bruno als den ersten monistischen Philosophen der neueren Zeit zu betrachten. In seinen Schriften kam die geistige Eigenart der italienischen Renaissance besonders zum Ausdruck. Der Lebensauffassung jener Zeit entsprach auch seine, im Gegensatz zum

---

1) In seiner, sechs Jahre nach dem Tode des Koppernikus veröffentlichten Schrift „Initia doctrinae physicae 1549“ (Die Anfangsgründe der Naturlehre) beschuldigt Melanchthon den Koppernikus, daß er lediglich zur Befriedigung seiner Eitelkeit Irrlehren, die schon das Altertum als bloße Gedankenspiele erkannt habe, verbreitete (L. Prowe, Nicolaus Coppernicus, Bd. I. 2, S. 232). In den späteren Auflagen seiner „Naturlehre“ hat Melanchthon diesen Vorwurf zwar beseitigt, den ablehnenden Standpunkt gegen die heliozentrische Lehre aber beibehalten. Melanchthon ließ sich von der Überzeugung leiten, daß auch in den Fragen der Naturwissenschaft die Bibel maßgebend sei. Siehe die Abhandlung von E. Wohlwill „Melanchthon und Copernicus“. Mitteil. zur Gesch. d. Med. u. Naturw. 1904. S. 260 u. f.

2) Giordano Bruno wurde zu Nola im Jahre 1548 geboren. Er durchwanderte lehrend Europa, geriet jedoch mit den herrschenden kirchlichen Dogmen in Widerspruch und wurde, weil er nicht widerrufen wollte, 1600 von der Inquisition zu Rom den Flammen übergeben. Siehe Landsbeck, Bruno, der Märtyrer der neuen Weltanschauung. Leipzig 1890.

Christentum stehende Lehre vom heroischen Affekt. Die neue astronomische Ansicht, die sich ihm und den Aufgeklärten unter seinen Zeitgenossen eröffnete, hat er im Sinne der „Schönheitsherrlichkeit“ der Welt verwertet [1]).

In engster Beziehung zur Astronomie hat sich die wissenschaftliche Erdkunde, d. h. eine Erdkunde, die mehr sein wollte, als eine bloße Beschreibung der Länder und ihrer Erzeugnisse, entwickelt. Sie fand in dem auf Koppernikus folgenden Zeitalter in Deutschland einen hervorragenden Vertreter in Gerhard Kremer oder Merkator, wie er sich selbst, nach damaliger Sitte seinen Namen latinisierend, nannte [2]).

Merkator wurde 1512 in einem flandrischen Städtchen geboren, wo sich seine, aus Jülich stammenden Eltern vorübergehend aufhielten. Als Arbeitsfeld wählte er, angeregt durch Gemma Frisius [3]), mit dem er während seiner Studienzeit verkehrte, die mathematische Geographie, als deren Neubegründer er von vielen Seiten anerkannt wurde [4]). Mit der Anfertigung von Landkarten, Globen und astronomischen Instrumenten erwarb sich Merkator seinen Unterhalt. Von 1552 bis zu seinem 1594 erfolgenden Tode lebte er in Duisburg, wo er neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit mathematischen Unterricht am Gymnasium erteilte.

Sein erstes größeres Werk war ein Erdglobus, auf dessen Verfertigung er ein und ein halbes Jahr verwendete. Zehn Jahre später (1551) lieferte Merkator einen großen Himmelsglobus. Zu seinen Abnehmern zählte auch Karl V. Dieser Monarch nahm an den Fortschritten der Astronomie und Geographie solch lebhaften Anteil, daß er während der Belagerung einer Festung mit Appianus ein Gespräch über diese Wissenschaften führen konnte, während die Kugeln rechts und links von ihnen einschlugen.

Im Jahre 1569 vollendete Merkator seine große Weltkarte. Es war dies ein für die Geschichte der Erdkunde und der Nautik hochbedeutsames Ereignis. Von diesem Zeitpunkt, sagt Merkators Biograph, datiert die Reform der Kartographie, die kein zweites Werk von gleicher Bedeutung zu verzeichnen hat.

---

[1]) Dilthey, G. Bruno und Spinoza. Archiv der Philosophie 1894. S. 269 u. f.

[2]) Breusing, Gerhard Kremer, genannt Merkator, der deutsche Geograph. Duisburg 1869.

[3]) Prof. der Medizin und der Astronomie in Löwen; lebte von 1535—1577.

[4]) Siehe Breusing cit. Schrift S. 35.

Ein für seine Zeit großes Verdienst erwarb sich Merkator dadurch, daß er die damals noch in hohem Ansehen stehende Geographie des Ptolemäos an Stelle der ungenauen Karten älterer Geographen mit Karten versah, die sich den Angaben des Ptolemäos genau anschlossen. Eine Sammlung von Karten europäischer Länder vereint mit Karten einzelner Erdteile und Übersichten der ganzen Erde veranstaltete Merkator mit seinem Sohne[1]. Sie erschien 1595 unter dem von Merkator gewählten Titel „Atlas", der seitdem für derartige Sammlungen gang und gäbe geblieben ist.

Die Grundsätze der Kartographie entwickelte Merkator[2] so klar, wie es kein anderer vor ihm vermocht hatte. Er war der erste, der die Bedingungen, die jede Projektionsart voraussetzt, genau untersuchte, und den Begriff der Konformität aufstellte, d. h. der Forderung, daß eine ebene Figur die größtmögliche Ähnlichkeit mit der Kugelfläche erhalten müsse. Da die Alten immer nur Teile der Erdoberfläche darzustellen hatten und ihre Projektionsarten dieser Aufgabe anpaßten, war Merkator, als es galt, die ganze Erde kartographisch darzustellen, vor eine ganz neue Aufgabe gestellt. Er löste sie durch das nach ihm benannte Verfahren in der trefflichsten, für den Gebrauch geeignetsten Weise. „Wenn," sagt Merkator in der Erläuterung, die er seiner Weltkarte hinzufügt, „von den vier Beziehungen, die zwischen zwei Orten in Ansehung ihrer gegenseitigen Lage stattfinden, nämlich Breitenunterschied, Längenunterschied, Richtung und Entfernung, auch nur zwei berücksichtigt werden, so treffen auch die übrigen genau zu, und es kann nach keiner Seite hin ein Fehler begangen werden, wie dies bei den gewöhnlichen Seekarten so vielfach und zwar um so mehr, je höher die Breiten sind, der Fall sein muß." Merkator erzielte diesen Vorteil dadurch, daß er die Erdoberfläche auf einen die Erde im Äquator berührenden Zylinder projizierte, dessen Achse der Erdachse parallel ist. Die Ausbreitung, welche dadurch die Längengrade nach den Polen hin erfahren, wird durch eine in demselben Verhältnis stattfindende Ausdehnung der Breitengrade ausgeglichen. Eine solche Karte ist winkeltreu, d. h. sie gibt die Winkel so wieder, wie sie auf der Erdoberfläche erscheinen; sie wahrt auch die Formähnlichkeit (Konformität) der Ländergestalten; sie ist jedoch nicht flächentreu, da ihr Maßstab mit der Entfernung vom Äquator wächst.

[1] Rumold Merkator.

[2] In seiner Schrift „Über die geographische Kunst".

13. Die ersten Ansätze zur Neubegründung der experimentellen und der anorganischen Naturwissenschaften.

Wie auf dem astronomischen, so machte sich auch auf den übrigen Gebieten der Naturwissenschaft während des 16. Jahrhunderts das Bestreben geltend, die Fesseln der Autorität zu sprengen und Beobachtung und Nachdenken an ihre Stelle zu setzen. Eine zweite epochemachende Tat, die sich derjenigen des Koppernikus an die Seite stellen ließe, haben wir jedoch in dieser Periode nicht zu verzeichnen.

Als Physiker ist unter den Zeitgenossen des Koppernikus vor allem Maurolykus (1494—1575) zu nennen. Er lehrte in Messina und entstammte einer derjenigen Familien, die nach der Eroberung Konstantinopels diese Stadt verlassen hatten, um sich den Verfolgungen der Türken zu entziehen. Maurolykus machte sich um die Mathematik verdient, indem er in einem umfangreichen Sammelwerke alles das zusammenfaßte, was er selbst an mathematischem Wissen den griechischen und arabischen Schriftstellern verdankte. Ein besonderes Verdienst erwarb er sich durch die Herausgabe der archimedischen Werke, sowie von Schriften des Apollonios, dessen Lehre von den Kegelschnitten durch ihn sogar erweitert wurde. Sein mathematisches Können betätigte Maurolykus ferner auf dem Gebiete der Optik, das sich von jeher für die mathematische Behandlung besonders geeignet erwiesen hatte. Sein optisches Werk, das er „Über Licht und Schatten“ betitelte[1], enthält manchen Fortschritt und viele Richtigstellungen früherer Irrtümer. Maurolykus ist z. B. der erste Physiker, welcher die Wirkung der Linse im Auge erklärt, indem er dartut, daß sich die Strahlen hinter der Linse schneiden. Die Kurz- und Übersichtigkeit leitet er aus einem übermäßigen oder zu geringen Grad der Linsenkrümmung ab. Wenn er damit auch nicht ganz das Wesen der Sache traf, da man heute Unregelmäßigkeiten in den Abmessungen des Augapfels als den Grund

---

[1]) Maurolykus, De lumine et umbra. Venedig 1575.

dieser Mängel betrachtet, so erschloß sich doch ein theoretisches Verständnis der Brillen, die schon seit dem 13. Jahrhundert im Gebrauch waren.

Ein schönes Beispiel, wie verschieden ein und dasselbe Problem in aristotelischem Sinne und im Geiste der neueren, den wissenschaftlichen Grundsätzen sich erschließenden Zeit behandelt wurde, bietet die Erklärung des runden Sonnenbildchens. Es ist eine allbekannte Erscheinung, daß die Sonnenstrahlen, welche durch eine unregelmäßig gestaltete Öffnung senkrecht auf eine ebene Fläche fallen, dort ein kreisförmiges Bild hervorrufen. Die Aristoteliker waren mit ihrer Erklärung, welche die Hohlheit des nicht durch genügende Induktion gestützten philosophischen Denkens treffend dartut, bald fertig. Sie schrieben die Erscheinung einer „Zirkularnatur" des Sonnenlichtes zu, setzten also an Stelle der Erklärung ein Wort, welches das bezeichnet, was zu erläutern ist. Geht man dagegen von der Tatsache aus, daß jeder Punkt der Sonnenoberfläche Licht aussendet und ein Bild von der Gestalt der Öffnung gibt, so werden die unzähligen Bilder, die sich teilweise decken, insgesamt ein Flächengebilde entstehen lassen, das sich als eine Projektion des leuchtenden Körpers darstellt. Daher muß das Bildchen bei einer Sonnenfinsternis, der Gestalt der Sonnenscheibe entsprechend, sichelförmig erscheinen, wie es die Beobachtung auch dartut[1]).

Etwas später fällt die Wirksamkeit des Italieners Johann Baptista Porta (1538—1615). Die Erscheinung dieses Mannes ist typisch für diejenige Stufe einer Disziplin, auf welcher sie noch nicht zu strengerer Wissenschaftlichkeit gelangt ist. Wir finden bei Porta und seinen Zeitgenossen, die sich mit physikalischen und chemischen Dingen beschäftigen, eine Verquickung von Richtigem und Unrichtigem, von Klarheit mit Mystik und Aberglauben, die heute, nachdem das Niveau der gesamten Bildung ein so viel höheres geworden ist, eigentümlich anmutet. Das Streben dieser Männer nach größerer Einsicht ging ferner mit einem marktschreierischen Treiben Hand in Hand, durch das sie ihr eigenes Ansehen und das ihrer Wissenschaft den Zeitgenossen gegenüber heben wollten.

[1]) Die Erklärung des Maurolykus beruht gleichfalls auf der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes; jedor Punkt der Öffnung wird dabei als die Spitze eines von der Sonne ausgehenden Strahlenkegels betrachtet, der auf der andern Seite der Öffnung seine Fortsetzung findet.

Das Buch, in welchem Porta, ganz dem Geschmacke seiner Zeit entsprechend, die Naturwissenschaften behandelt, ist „Die natürliche Magie“ betitelt[1]). Es ähnelt in manchen Teilen einem modernen Zauberbuche, da es dem Autor fast immer darauf ankommt, den Leser zu belustigen oder durch das Überraschende der Erscheinung in Verwunderung zu versetzen. Wichtig ist, daß Porta in seinem Opus eine von ihm getroffene Verbesserung der Camera obscura beschreibt. Bis dahin hatte man bei diesem Apparat das Licht durch eine Öffnung auf einen dahinter befindlichen Schirm fallen lassen. Porta brachte in der vergrößerten Öffnung eine Linse an, wodurch die Bilder bedeutend an Schärfe gewannen.

Von Interesse ist ferner eine von Porta herrührende Einrichtung, den Dampf zum Heben von Wasser zu benutzen. Das Wasser befindet sich in einem Gefäß; der Dampf drückt auf die Oberfläche des Wassers und treibt es durch ein heberartiges, bis auf den Boden tauchendes Rohr aus dem Behälter heraus. Eine derartige Vorrichtung, die gegen das Dampfrad Herons keinen wesentlichen Fortschritt bedeutet, als die erste Stufe der Dampfmaschine zu bezeichnen, ist nicht gerechtfertigt. Doch läßt sich nicht verkennen, daß man durch die von Heron und Porta beschriebenen Versuche mit der Wirkung gespannter Dämpfe vertraut wurde, und daß dadurch der Gedanke, diese Wirkung auf die einfachen Maschinen der Mechanik zu übertragen, allmählich heranreifte. Erst von diesem Fortschritt an, den wir später zu betrachten haben, kann von einer eigentlichen Dampfmaschine die Rede sein.

Auch den magnetischen Erscheinungen wandte man jetzt eine größere Aufmerksamkeit zu. Aber gerade dieses Gebiet wurde von Porta und Männern verwandten Geistes außerordentlich mit Mystik und Aberglauben verwoben. Mit der Deklination, deren Größe Porta für Italien gleich 9^0 östlich angibt, war man schon vor Columbus bekannt geworden. Letzterer machte die Beobachtung, daß sich die Deklination bei einer Reise nach Westen verringerte und schließlich in eine westliche (sie war damals im ganzen Gebiete des Mittelmeeres östlich) überging. Auf Grund dieser Erkenntnis suchte sich Columbus auf seiner zweiten Reise, wenn die Schiffsrechnung unsicher war, durch einen Vergleich der Deklinationen zu orientieren. Es war dies der erste, später oft

1) J. P. Portae Neapolitani Magia naturalis. 1553 (nicht mehr vorhanden). 1560. 1589.

wiederholte Versuch, die Deklination zur Auffindung der geographischen Länge zu verwerten. Eine brauchbare Lösung des Längenproblems, das schon Hipparch und Ptolemäos große Schwierigkeiten bereitet hatte, sollte jedoch nicht auf diesem Wege, sondern erst durch die Erfindung genauer Chronometer ermöglicht werden. Das zweite Element des tellurischen Magnetismus, die Erscheinung nämlich, daß die um eine horizontale Achse drehbare Nadel eine geneigte Lage einnimmt, hat zuerst der Engländer Norman genauer beobachtet. Er gab im Jahre 1576 die Größe dieser, als Inklination bezeichneten Neigung für London zu 71° 50′ an[1]). Auf die wechselnde Intensität des Erdmagnetismus wurde man dann gegen das Ende des 18. Jahrhunderts aufmerksam, so daß erst seit dieser Zeit eine allseitige, auch das Quantitative in der Erscheinung berücksichtigende Kenntnis dieser Naturkraft Platz greifen konnte.

Unter den Männern, welche etwas später die Naturwissenschaften in Deutschland ganz im Geiste Portas behandelten, ist Daniel Schwenter (geboren 1585; gestorben 1636 als Professor der Mathematik in Altdorf) zu nennen. Sein bekanntestes Werk, „Die mathematischen und philosophischen Erquickstunden“[2]), ist ein würdiges Seitenstück zu Portas „Magia naturalis“ und erscheint besonders geeignet, um den Standpunkt, welchen die Naturwissenschaften zumal in Deutschland vor der großen, durch Galilei, Kepler und ihre Mitarbeiter hervorgerufenen Umwälzung einnahmen, zu kennzeichnen.

Bezeichnend ist zunächst, daß Schwenter es für nötig hält, die Beschäftigung mit der Natur gegen den Vorwurf zu verteidigen, es handele sich dabei um eine unnütze, ja kindliche Tätigkeit. Ein Kind, sagt er, werfe wohl einen Stein ins Wasser und freue sich über die vielen Kreise. Das sei eine kindliche Freude. Die Ursache dieser Erscheinung nachzuweisen, sei dagegen kein Kinderwerk. Einige Beispiele mögen zeigen, wie unzulänglich und unbestimmt die Ansichten waren, die man an der Schwelle des 17. Jahrhunderts noch hegte. Wir werden dann den großen Fortschritt, welchen die Wissenschaft um jene Zeit durch die Begründung der induktiven Forschungsweise erfuhr, um so besser würdigen können.

[1]) Gilbert, de magnete I, 1. Von dem Deutschen Georg Hartmann (1489—1564) rührt eine noch ältere, aber ganz ungenaue Beobachtung der Inklination her (9 Grad anstatt etwa 70 Grad).

[2]) Deliciae physico-mathematicae. Nach dem Tode Schwenters erschienen. Eine Übersetzung rührt von Harsdörffer her.

So ist das ganze Wissen Schwenters über die Fallbewegung in folgenden Sätzen enthalten[1]: „Wenn ein Körper fällt, so bewegt er sich um so geschwinder, je näher er der Erde kommt. Je höher der Körper herabfällt, eine um so größere Gewalt besitzt er. Denn alles was schwer ist, eilt nach der Philosophen Meinung unverhindert zu seinem natürlichen Ort, d. i. zum Zentrum der Erde, wie der Mensch, der in sein Vaterland zurückkehrt, um so begieriger ist, je näher er kommt und daher um so mehr eilt. Dazu kommt noch eine andere natürliche Ursache. Die Luft nämlich, welche von der Kugel zerteilt wird, eilt über der Kugel geschwind wieder zusammen und treibt sie immer stärker an. Was aber schon bewegt ist, läßt sich leichtlich weiter und geschwinder bewegen." Ein Fortschritt dem Aristoteles gegenüber ist in diesen Auffassungen nirgends zu bemerken. Im Gegenteil, man muß sie als rein aristotelisch bezeichnen. Nicht minder gilt dies von Schwenters Auffassung der Wurfbewegung. Er setzt sie aus drei Bewegungen zusammen, die er als genötigte, als gemischte und als natürliche Bewegung bezeichnet. Danach treibt z. B. das Pulver die Kugel in einer genötigten Bewegung schräg aufwärts, bis der höchste Punkt der Flugbahn erreicht wird. Dann fängt, „nachdem eine solche gewalttätige Bewegung schier ihr Ende nehmen will, die gemischte Bewegung durch einen Bogen an." Endlich gehe die Kugel in die natürliche Bewegung über und falle senkrecht auf die Erde. Aus dieser Theorie sucht Schwenter die Erfahrungstatsache abzuleiten, daß die größte Schußweite bei einem Winkel von 45° erzielt wird.

Interessant sind auch die Bemerkungen über den senkrechten Schuß. Er verleihe dem Geschoß weit mehr Gewalt als der horizontale Schuß, „weil das Feuer von Natur über sich begehre." Wenn ferner das Geschütz in die Höhe gerichtet werde, so presse die Kugel das Pulver und widerstrebe der Gewalt des Pulvers auch mehr. Dadurch werde bewirkt, daß sich das Pulver gleichsam erzürne, ehe es die Kugel austreibe. Endlich werde eine schwere Kugel, welche widerstreben könne, viel weiter getrieben als eine leichte, z. B. eine solche von Holz, welche nicht widerstreben könne.

Die Tatsache, daß die Kugel beim senkrechten Schuß in der Nähe des Geschützes wieder niederfällt, wird als Beweismittel gegen die koppernikanische Lehre verwertet[2]. „So die Kugel 2 Minuten

1) L. c. 3. Teil XIX.

2) A. a. O. 11. Teil XVIII.

in der Luft bleibt, müßte indessen der Böller 30 deutsche Meilen gelaufen sein. Dies ist unmöglich, denn man würde dann keine Kugel mehr finden.“ Die Koppernikaner, sagt Schwenter, seien zwar der Ansicht, die Luft bewege sich mit der Erde und zwar mit der gleichen Geschwindigkeit wie die Erde. Die empor geworfene Kugel müsse daher von der Luft getrieben nicht weit von dem Böller niederfallen. Es ist aber, fügt Schwenter hinzu, nicht glaublich, ja unmöglich, daß die Luft imstande ist, eine schwere Kugel in solch kurzer Zeit 30 Meilen fortzutreiben. Diese Schwierigkeit stand der Annahme des koppernikanischen Systems also noch 100 Jahre nach seiner Aufstellung im Wege. Sie konnte erst durch die allgemeine Anerkennung des Beharrungsgesetzes gehoben werden.

In dem optischen Teil werden die Kamera, das Glasprisma, die Lichtbrechung und der Regenbogen abgehandelt. Trotzdem Schwenter den letzteren auch an Springbrunnen und an mit Regentropfen bedeckten Spinnengeweben beobachtet hat, hält er ihn dennoch für ein übernatürliches Werk. Der Regenbogen ist für ihn „ein Spiegel, in welchem der menschliche Verstand seine Unwissenheit am hellen Tage sehen könne“. Die Physiker hätten „durch ihr vielfältiges Nachsinnen nichts anderes darin gefunden, als daß sie noch das Wenigste, so in der Natur verborgen sei, ausspekuliert hätten“.

Gelegentlich der von ihm für glaubwürdig gehaltenen Erzählung von den Brennspiegeln des Archimedes bemerkt Schwenter, daß man auch durch eine Anzahl flacher Spiegel Pulver entzünden könne, wenn man die Sonnenstrahlen durch die Spiegel sämtlich auf einen Punkt werfe.

In dem Abschnitt, der von der Wärme handelt, beschreibt Schwenter auch ein Instrument, mit welchem man den Grad der Hitze und der Kälte messen könne. Er bringt in ein Gefäß mit langem Halse etwas Wasser und kehrt das Gefäß dann unter Wasser um, so daß die Flüssigkeit einen Teil der Röhre füllt. Im Winter, sagt Schwenter, steigt das Wasser hoch herauf, so daß es fast die ganze Röhre füllt; im Sommer dagegen sinkt es tief herab.

Schwenter ist noch mit Porta der Ansicht, daß sich das Wasser durch einen Heber über hohe Berge leiten lasse. Man solle, meint er, eine Röhre über den Berg legen und an der höchsten Stelle der Röhre einen Trichter anbringen. Verstopfe man dann die beiden Mündungen der Röhre, so könne man sie ganz mit Wasser füllen. Nach diesen Vorbereitungen sei es nur nötig,

die Mündungen gleichzeitig zu öffnen. Das Wasser werde dann fort und fort aus dem Behälter, in den man die eine Mündung getaucht, durch die Röhre ausströmen, wenn nur die zweite Mündung tiefer gelegen sei. Jeder Versuch würde Porta und Schwenter gelehrt haben, daß über einen „Berg“ von 10 Metern Höhe das Wasser nicht durch einen Heber geführt werden kann.

Daß Schwenter indessen fremde Angaben auch nachprüft, geht aus manchen Stellen seiner Schrift hervor. So hat ihm jemand mitgeteilt, das Wasser steige aus einem tiefer befindlichen Gefäß in ein höher gelegenes, wenn man beide Gefäße durch einen wollenen Faden verbinde. Schwenter bemerkt dazu: „Ich finde durch den Versuch, daß diese Kunst nicht angeht, denn es ist damit wie mit einem Heber beschaffen. Das Wasser läuft nämlich nicht durch das wollene Band, wenn sein Ende nicht tiefer liegt als der Wasserspiegel, in den das andere Ende eintaucht.“

Wir haben Schwenters Werk etwas ausführlicher behandelt, nicht etwa, weil es die Wissenschaft durch neue Gedanken oder Entdeckungen bereichert hätte, sondern weil wenige von den in Deutschland zu Beginn des 17. Jahrhunderts verfaßten Schriften über das gesamte Gebiet der Naturlehre so geeignet sind, uns eine Vorstellung von dem Wissensstande und den Anschauungen zu geben, die damals herrschten. Im gleichen Sinne wie Porta und Schwenter wirkten während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts in Deutschland Athanasius Kircher, Kaspar Schott und andere Männer. Sie alle waren Gelehrte von oft polyhistorischem Wissen, die uns wohl dickleibige, zur Beurteilung jener Zeit wichtige Folianten hinterlassen, die Wissenschaft selbst aber weder durch neue Ideen, noch durch Entdeckungen bereichert haben. Insbesondere der gelehrte Jesuit Kircher verdient mehr als bloße Erwähnung.

Athanasius Kircher wurde in der Nähe von Fulda im Jahre 1601 geboren. Er wirkte als Professor der Mathematik zunächst an der Universität Würzburg, später in Rom, wo er 1680 starb. Von Kirchers zahlreichen Schriften sind besonders drei hervorzuheben, weil sie uns einen Einblick in den damaligen Zustand der Naturwissenschaften gewähren. Es ist das Werk vom Licht und vom Schatten (Ars magna lucis et umbrae 1646), ferner ein Werk über den Magnetismus (Magnes, sive de arte magnetica 1643) und drittens die für die Entwicklung der geologischen Vorstellungen wichtige Schrift über „Die unterirdische Welt“ (Mundus subterraneus 1664).

In dem optischen Werke Kirchers wird zum ersten Male auf die Erscheinung der Fluoreszenz und auf die physiologischen Farben hingewiesen. Die Fluoreszenz nahm Kircher an dem wässerigen Auszug wahr, den man aus einem mexikanischen Holz, dem „Nierenholz“ herstellt[1]). Diese Lösung zeigte im auffallenden Lichte eine tiefblaue Farbe, während die Flüssigkeit beim Hindurchblicken farblos wie Brunnenwasser aussah. Unter Umständen erschien sie auch grün oder rötlich. Eine Erklärung dieser auffallenden Erscheinung vermochte Kircher nicht zu geben.

Sehr ausführlich handelt Kircher von dem bononischen (Bologneser) Leuchtstein. Ein Alchemist hatte den in der Nähe von Bologna vorkommenden Schwerspat unter Beimengung reduzierender Mittel im Ofen erhitzt und wahrgenommen, daß der Rückstand im Dunkeln leuchtet, wenn er vorher von der Sonne beschienen wurde. Die Entdeckung[2]) erregte, wie begreiflich, das größte Aufsehen. Auch Galilei beschäftigte sich damit. Er meinte, sie spreche deutlich gegen die Ansicht, daß das Licht eine unkörperliche Qualität sei, weil der Stein das Sonnenlicht aufnehme, als ob es ein Körper wäre, und es nach und nach wieder zurückgebe. Kircher ist derselben Meinung. Er stellte den Bologneser Stein her, indem er den Spat mit Eiweiß und Leinöl mischte und das Gemenge glühte.

Überraschende Entdeckungen sind fast immer in ihrer Tragweite überschätzt und zu kühnen, nicht stichhaltigen Erklärungen verwertet worden. Dies gilt auch von dem Bologneser Leuchtstein. So schrieb Kircher dem Auge die gleichen Eigenschaften zu, die dieser Stein besitzt, um die von ihm zuerst beschriebenen physiologischen oder subjektiven Farben zu erklären. Gemeint ist die Erscheinung, daß das Auge, nachdem es längere Zeit auf farbige Gegenstände und dann auf eine weiße Fläche gerichtet wird, die Umrisse jener Gegenstände in gewissen Farben erblickt. Dies sollte daher rühren, daß das Auge, wie der Leuchtstein, das Licht einsauge und es allmählich wieder ausstrahle. Ein Zeitgenosse Kirchers suchte sogar das graue Licht des von der Sonne nicht beleuchteten Teiles der Mondoberfläche durch die Annahme zu erklären, daß auch der Mond ein Bologneser Stein sei.

Von gutem Beobachtungsvermögen zeugen Kirchers Bemerkungen über den Farbenwechsel des Chamäleons. Er brachte

[1]) Das Holz hatten Jesuiten in Mexiko kennen gelernt; es wurde Nierenholz (lignum nephriticum) genannt, weil man es gegen Nieren- und Blasenkrankheiten anwandte.

[2]) Sie soll um 1630 erfolgt sein.

das Tier auf weiße und rote Tücher und zeigte, daß der Farbenwechsel dadurch beeinflußt wird.

Bei Kircher begegnet uns ferner zuerst eine Beschreibung der Laterna magica. Man hat ihn daher als den Erfinder dieses Apparats bezeichnet, wahrscheinlich aber mit Unrecht[1]). Kircher bediente sich schon der transparenten Glasbilder. Ein erbauliches Beispiel für seinen theologischen Eifer möge nicht unerwähnt bleiben. Die Zauberlaterne erscheint ihm nämlich als ein vortreffliches Mittel, Gottlose durch Vorführung des Teufels auf den rechten Weg zurückzubringen.

Kirchers Werk über den Magneten steht hinter der viel früher erschienenen, den gleichen Gegenstand behandelnden Schrift des Engländers Gilbert weit zurück. Hervorzuheben ist Kirchers Verfahren, mittelst der Wage die Tragkraft des Magneten zu bestimmen. Auch stellt er die durch Jesuitenmissionäre im Auslande gemachten Beobachtungen über Größe und Änderungen der Deklination in einer Tabelle zusammen. Wie kritiklos indessen auch auf diesem Gebiete Kircher und Schwenter häufig verfahren, geht daraus hervor, daß sie die alte Fabel, daß der Magnet durch gewisse Pflanzen seine Kraft verliere, ohne Nachprüfung aufnehmen. Der Magnet verliert, sagt Schwenter, durch Feuer und durch Knoblauch seine Kraft. „Wie die Erfahrung bezeugt" setzt er sogar hinzu.

Wie Schwenter handelt Kircher im übrigen bei der Besprechung der magnetischen Erscheinungen meist von Spielereien, deren Schilderung mit starken Übertreibungen und Fabeln aller Art durchsetzt ist. Beide Schriftsteller erörtern beispielsweise die Möglichkeit, vermittelst des Magneten eine Art Telegraphie zu bewerkstelligen. Zwei Personen, von denen die eine in Paris, die andere in Rom sein könne, müsse man mit kräftigen Magneten ausrüsten. Bei genügender Stärke werde der eine Magnet auf den anderen zu wirken vermögen. Es sei dann nur erforderlich, unter jeder Nadel eine Scheibe mit Buchstaben anzubringen. Der Sprechende habe nur seine Nadel auf die verschiedenen Buchstaben einzustellen, um die Nadel des Empfängers zu den gleichen Einstellungen zu veranlassen. Kurz, es ist der Grundgedanke des Zeigertelegraphen, der uns hier entwickelt wird. Nur schade, daß das Mittel zur Übertragung nicht ausreichte. Das sah auch Schwenter ein, denn er fügt hinzu: „Die Invention ist schön, aber ich achte nicht

1) Siehe Wilde, Geschichte der Optik. Bd. I. S. 294.

davor, daß ein Magnet solcher Tugend auf der Welt gefunden werde."

Das bedeutendste Ereignis der folgenden Periode ist die Begründung der Dynamik durch Galilei. Aber auch dies geschieht nicht unvermittelt. Fanden sich schon bei Lionardo da Vinci klare, wenn auch noch nicht hinreichend durchgearbeitete Begriffe auf diesem Gebiete der Physik, z. B. bezüglich des Fallens über die schiefe Ebene[1]) vor, so mehren sich die Ansätze, je weiter wir uns dem Auftreten Galileis nähern. Vor allem greift eine bessere, schon auf physikalischen Grundsätzen beruhende Auffassung der Wurfbewegung Platz. Man erkennt, daß die Bahn des geworfenen Körpers eine einzige krumme Linie und nicht aus geraden und krummen Stücken zusammengesetzt ist, wie die Peripatetiker behaupteten, sowie daß die größte Wurfweite bei einem Elevationswinkel von 45^0 erzielt wird[2]). Auch die Meinung der Aristoteliker, daß ein Körper um so schneller falle, je schwerer er ist, wird schon vor Galilei, der sie glänzend widerlegt, durch den Italiener Tartaglia erschüttert. Dieser lehrte, daß Körper von verschiedenem Gewicht beim freien Fall in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurücklegen, sowie daß ein im Kreise geschwungener Gegenstand beim Anhören der Zentralbewegung sich in tangentialer Richtung fortbewegt. Obwohl man diese Vorarbeiten als die Anzeichen des beginnenden Umschwunges sehr hoch bewerten muß, ist doch erst Galilei als der eigentliche Begründer der Dynamik zu betrachten, weil durch ihn wie mit einem Schlage fast alles beseitigt wurde, was jener Wissenschaft an Verschwommenheit und aristotelischer Betrachtungsweise noch anhaftete.

Für die Chemie sollte ein entsprechender Fortschritt noch lange auf sich warten lassen. Zwar wurde er hier durch anerkennenswerte Leistungen weit mehr vorbereitet als die fast unvermittelt uns entgegentretenden Errungenschaften Galileis. Die Umgestaltung zur exakten Wissenschaft vollzog sich aber trotzdem auf dem Gebiete der Chemie erst im Verlauf des 18. Jahrhunderts. Während nämlich die Grundlagen der Mathematik, der Astronomie und der Statik der neueren Epoche aus dem Altertum schon in

[1]) Schon im 13. Jahrhundert versuchte der Deutsche Jordanus Nemorarius mechanische Probleme auf dynamischem Wege zu lösen (Liber Jordani Nemorarii de ponderibus. Herausgegeben von Peter Appian, 1533). Näheres siehe Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig, W. Engelmann, 1899. S. 78 u. f.

[2]) Tartaglia, Nuova scienza (Venedig 1537).

wissenschaftlicher Gestalt überliefert wurden, war die Alchemie im wesentlichen ein Erzeugnis des Mittelalters und, dem Hange jener Zeit entsprechend, durch mystische Zusätze getrübt. Wie Roger Bacon und Albertus Magnus wandelten die Vertreter der Chemie zu Beginn der neueren Zeit noch ganz in den vom Mittelalter vorgezeichneten Bahnen. An den Stein der Weisen, dessen Herstellung nach wie vor das Hauptziel aller Bemühungen blieb, knüpfte man die abenteuerlichsten Hoffnungen. Der Stein sollte nicht nur, wie bei den älteren Alchemisten, beim Zusammenschmelzen mit unedlen Metallen Gold erzeugen, und zwar unbegrenzte Mengen, oder wenigstens 1000 × 1000 Teile, sondern er sollte auch das Leben verlängern, dem Alter die Jugend zurückgeben und alle Krankheiten heilen.

Von der Überzeugung, daß die Darstellung der Materia prima gelungen und Gold mit ihrer Hilfe dargestellt sei, war man übrigens fest durchdrungen. Die Alchemie erlangte sogar eine gewisse politische Bedeutung. An allen Fürstenhöfen besaßen Männer, die sich angeblich im Besitze des Geheimnisses befanden, großen Einfluß. Nachdem z. B. die englische Regierung die Gelehrten und die Geistlichen aufgefordert hatte, die Hilfe Gottes zu erflehen, damit die Herstellung des Steins der Weisen endlich gelinge und man die Staatsschulden bezahlen könne[1]), gedieh die Sache bald darauf schon weiter. Dasselbe Land nahm nämlich keinen Anstand, aus alchemistischem Golde geprägte Münzen in Umlauf zu bringen. Doch war man, zumal in den geschädigten Nachbarländern, aufgeklärt genug, um bald zu erkennen, daß es sich hier um eine arge Täuschung handelte[2]).

So bildete denn während des langen Zeitraums von mehr als einem Jahrtausend das Suchen nach Gold[3]) die treibende Kraft für die chemische Wissenschaft. Denn als eine Wissenschaft müssen

1) Dies geschah im Jahre 1423.

2) Übrigens betrieb Karl VII. von Frankreich, dem die Engländer den Thron zugunsten ihres Königs Heinrich VI. streitig machten, dieselbe Art von Falschmünzerei.

Siehe auch H. Schelenz, „Hermes und seine Kunst, Alchemie in England". Pharmazeutische Post. Wien 1902. Nr. 6. Danach wurde im Jahre 1440 einer englischen Firma sogar das Privileg zur Herstellung von künstlichem Gold gegeben. Doch sank dadurch der Wert der englischen Goldmünzen um die Hälfte.

3) Es lehrte, sagt Chamberlain treffend, schärfer beobachten, verdoppelte die Erfindungsgabe, flößte die kühnsten Hypothesen ein und schenkte endlose Ausdauer und Todesverachtung (Chamberlain, Grundlagen S. 756).

wir die Chemie auf jener Entwicklungsstufe gelten lassen, wenn auch als eine rein empirisch betriebene. Wurde doch während dieses ausgedehnten Zeitraums eine unübersehbare Fülle von Tatsachen über das chemische Verhalten der Körper beobachtet, eine Unzahl neuer Verbindungen hergestellt, die wichtigsten chemischen Operationen ausgebildet, kurz eine breite Grundlage geschaffen, die für die spätere Errichtung eines Lehrgebäudes ganz unerläßlich war. Wir dürfen ferner bei der Beurteilung der Alchemisten nicht vergessen, daß viele von ihnen von einem heißen, wenn auch noch unklaren Streben nach einem Eindringen in die für sie mit dem tiefen Schleier des Geheimnisvollen und Unerklärlichen verhüllte Natur erfüllt waren und weiter, daß auch heute noch die Hoffnung auf materiellen Gewinn oder wenigstens auf Nutzen für das Gemeinwohl für sehr viele wissenschaftliche Unternehmungen, insbesondere für diejenigen, welche der Staat mit seinen Mitteln fördert, die wichtigste Triebfeder ist.

Zu den eifrigsten Beschützern der Alchemisten und der Astrologen gehörte der deutsche Kaiser Rudolf II., der auf den Lebensgang des großen Kepler einen solch tiefgreifenden Einfluß ausgeübt hat. Als Rudolf II. im Jahre 1612 starb, fand man in seinem Nachlaß große Mengen Gold und Silber, die als Erzeugnisse der alchemistischen Kunst betrachtet wurden. Wenige Jahre später berichtet van Helmont, ein Mann, von dessen Ehrlichkeit in wissenschaftlichen Dingen wir überzeugt sein dürfen, daß es ihm gelungen sei, acht Unzen Quecksilber mit $^1/_4$ Gran der gesuchten Substanz, die auf eine etwas mysteriöse Weise in seine Hände gelangt sei, in Gold zu verwandeln.

Daß die alchemistischen Bestrebungen stets von neuem Nahrung fanden, und sich bis in das 18. Jahrhundert[1]) hinein fortsetzen konnten, so daß wir auf sie noch zurückkommen müssen, darf unter solchen Umständen nicht wundernehmen. Die Chemie erhielt jedoch in dieser Periode, wenn sich ihr Gesamtcharakter zunächst auch wenig änderte, eine Anregung, die für ihre weitere Entwickelung von Bedeutung werden sollte. Als zweite wichtige, die Erzeugung des Steines der Weisen immer mehr in den Hintergrund drängende Aufgabe wurde es nämlich betrachtet, geeignete Präparate zum Heilen der Krankheiten herzustellen. Es beginnt damit das Zeitalter der medizinischen oder Jatrochemie.

Der Hauptvertreter der Jatrochemie war Paracelsus. Dieser merkwürdige Mann, dessen Lebenslauf hier nicht eingehender be-

[1]) Vereinzelt selbst bis ins 19. Jahrhundert.

trachtet werden kann, wenn er auch ein Stück Kulturgeschichte zu entrollen geeignet ist, wurde im Jahre 1493 zu Einsiedeln in der Schweiz geboren. Theophrastus Paracelsus (von Hohenheim) bekleidete eine Zeitlang eine Professur in Basel, führte jedoch im übrigen ein unstätes Leben, bis er 1541 gänzlich mittellos starb. Sein ganzes Auftreten kennzeichnet ihn als einen Vertreter des reformatorischen Geistes jener Zeit, der sich keineswegs auf das kirchliche Gebiet beschränkte. Insbesondere wandte sich Paracelsus gegen die anerkannten wissenschaftlichen Autoritäten, die bislang auf dem Gebiete der Chemie und dem der Medizin gegolten hatten. Paracelsus spricht es unumwunden aus, daß der wahre Zweck der Chemie nicht darin bestehe, Gold zu machen, sondern daß es ihre Aufgabe sei, Arzneien zu bereiten, die man bis dahin nach dem Vorgange Galens fast ausschließlich dem Pflanzenreiche entnommen hatte. In etwas theatralischer Weise übergab Paracelsus, als er seine Vorlesungen in Basel gegen alles Herkommen in deutscher Sprache eröffnete, ältere Werke, deren Inhalt er bekämpfte, den Flammen. Und zwar geschah dies, bald nachdem Luther die Brücke dadurch hinter sich vernichtet hatte, daß er die päpstliche Bannbulle öffentlich verbrannte.

Paracelsus hat bis vor kurzem als umherschweifender, dem Trunke ergebener Charlatan gegolten. Die neuere, besonders auf den Studien Sudhoffs beruhende Paracelsusforschung hat mit dieser Auffassung gänzlich gebrochen. Der Wandertrieb des Paracelsus ist aus einer gründlichen Abkehr vom herkömmlichen Bücherstudium und aus seinem Triebe zur Naturerkenntnis zu erklären. Paracelsus begründet sein ihm oft zum Vorwurf gemachtes Verhalten mit folgenden Worten: „Mir ist not, daß ich mich verantworte von wegen meines Landfahrens. Daß ich so gar nirgends bleiblich bin, zeichnet den Weg derer, die den Büchern den Rücken wenden und in die Natur hinaustreten. Mein Wandern hat mir wohl erschlossen, daß keinem sein Meister im Haus wachset noch seinen Lehrer hinter dem Ofen hat. Die Künste sind nicht verschlossen in eines Vaterland, sondern ausgeteilt durch die ganze Welt, sie sind nicht in einem Menschen oder an einem Ort, sie müssen zusammengeklaubt werden und gesucht, da sie sind. Die Kunst geht keinem nach, aber ihr muß nachgegangen werden. Wie mag hinter dem Ofen ein guter Kosmographus wachsen oder ein Geograph?“ An einer andern Stelle sagt er: „Die Weisheit ist eine Gabe Gottes. Da er sie hingibt, in demselbigen soll man sie suchen. Also auch da er die Kunst hinlegt, da soll sie

gesucht werden . . . . Die Schrift wird erforschet durch ihre Buchstaben, die Natur aber von Land zu Land, so oft ein Land so oft ein Blatt. Also ist Codex Naturae, also muß man ihre Blätter umkehren“ [1]).

Paracelsus verhielt sich den Anhängern Luthers und Zwinglis gegenüber ebenso ablehnend wie dem Papsttum und seiner Lehre. Er stand über den kirchlichen Streitereien seiner Zeit. Seine Frömmigkeit war eine rein menschliche, sein Herz erfüllt von der Liebe zum Nächsten. Diese solle die Berufstätigkeit des Arztes durchdringen [2]).

Am größten ist der Einfluß des Paracelsus auf die damalige, fast nur auf verderbter Überlieferung der alten Literatur beruhende Heilkunde gewesen. Die Werke Galens, das hervorragendste Erzeugnis der antiken Heilwissenschaft, hatten nämlich einen großen Umweg gemacht, um nach Deutschland zu gelangen. Die Araber hatten sie gesammelt. Die Erläuterungen waren vorzugsweise in Spanien und Italien entstanden, und schließlich waren Galens Werke noch in jenes barbarische Latein übertragen, das vor dem Emporblühen des Humanismus die Schriftsprache der mitteleuropäischen Universitäten war. Als Lehrbuch wurde besonders der um das Jahr 1000 entstandene Kanon des Avicenna (Ibn Sina) benutzt, ein umfangreiches Werk, welches das Ganze der antiken und frühmittelalterlichen Chemie und Medizin umfaßte [3]).

Diesem Zustande machte Paracelsus durch sein kühnes Auftreten ein Ende. Er war es, der zuerst die in bloßer Buchgelehrsamkeit erstarrte Heilkunde wieder als reine Erfahrungswissenschaft auffassen lehrte. Im Verkehr mit Bergleuten, Handwerkern und den auf sich angewiesenen, der Natur noch unbefangen gegenüberstehenden Bewohnern einsamer Wälder und Gebirge sammelte er seine Kenntnisse. Der Natur müsse man nachgehen von Land zu Land und die Augen, die „an der Erfahrenheit Lust“ hätten, seien die wahren Professoren. In Paracelsus lebte ein tiefer Geist, der aber „von dem einen Punkte, den er ergriffen,

[1]) Siehe F. Strunz, Theophrastus Paracelsus, sein Leben und seine Persönlichkeit. Ein Beitrag zur Geistesgeschichte der deutschen Renaissance. Leipzig, E. Diedrichs, 1903.

[2]) Siehe E. Sudhoffs Bericht über die neuesten Wertungen Hohenheims in den Mitteil. z. Gesch. d. Medizin u. Naturwiss. 1904. S. 475.

[3]) Im Druck erschien es zuerst 1493 und zuletzt in Basel in fünf Bänden 1523, also kurz bevor Paracelsus dort auftrat.

die Welt erobern zu können meinte: viel zu weit ausgreifend, selbstgenügsam, trotzig und phantastisch". Auf die wunderlichen medizinischen Vorstellungen des Paracelsus näher einzugehen, nach welchen z. B. eine schaffende Kraft alle Lebenstätigkeiten regelt, ihrerseits aber wieder in einem engen Zusammenhange mit den Gestirnen steht, verbietet sich von selbst. Die Verbindung der Heilkunde mit der Chemie ergibt sich nach Paracelsus daraus, daß die Krankheiten auf Änderungen in der chemischen Zusammensetzung des Körpers zurückzuführen seien. Chemisch wirksame Mittel müßten also den normalen Zustand wieder herbeiführen können. Alle Krankheiten sind von diesem Gesichtspunkte aus entweder durch Zufuhr oder durch Beseitigung des im gegebenen Falle in Betracht kommenden Elementes heilbar. Fieber wird durch ein Überwiegen von Sulfur (Schwefel), Gicht auf die Ausscheidung von Mercurius (Quecksilber) zurückgeführt, Elemente, die nach der Lehre des Paracelsus neben Sal (Salz) die Grundbestandteile aller Dinge sind. Kupfervitriol, Quecksilberchlorid, die schon vor Paracelsus als Heilmittel empfohlenen Verbindungen des Antimons und zahlreiche andere, teils giftige, teils ungiftige Präparate wandern damit in das Arsenal der ärztlichen Heilmittel. Aus den genannten drei Elementen sind nach Paracelsus alle Mineralien, Pflanzen und Tiere zusammengesetzt. Es ist im wesentlichen die alte, auf die aristotelischen Elemente zurückzuführende Lehre des Alchemisten. Der Sulfur war ihnen und Paracelsus das Prinzip der Verbrennlichkeit, Mercurius bedingte die Verflüchtigung, Sal endlich war der feuerbeständige Anteil, der nach dem Verbrennen in der Regel übrig blieb.

Seit dem Zeitalter der Jatrochemie entwickelt sich der Stand der chemisch vorgebildeten Pharmazeuten, aus dem manches für den weiteren Ausbau der Wissenschaft bedeutende Talent hervorgegangen ist. Waren doch seit dem Verschwinden der schwarzen Küche der Adepten bis gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts die Apotheken vorzugsweise diejenigen Stätten, von denen die praktische Beschäftigung mit der Chemie und die Fortbildung dieser Wissenschaft ihren Ausgang nahmen.

Mit der Entwicklung der Chemie ist das Emporblühen der Mineralogie, der Chemie der natürlich vorkommenden Verbindungen, stets eng verknüpft gewesen. Um 1500 begegnet uns das erste, sogar deutsch geschriebene mineralogische Lehrbuch, das nicht ein bloßer Abklatsch der aus dem Altertum überkommenen Werke ist, sondern Selbständigkeit und Beobachtungsgabe verrät. Es führt

den Namen „Bergbüchlein“[1]) und wurde dem lange Zeit als Verfasser zahlreicher chemischer Schriften geltenden Basilius Valentinus zugeschrieben. Wir haben es indessen hier sehr wahrscheinlich nicht mit einer historischen, sondern mit einer erst später erdichteten Persönlichkeit zu tun.

Auch Paracelsus schrieb über die Mineralien. Als der eigentliche Vater der neueren Mineralogie ist jedoch Georg Bauer zu betrachten. Er wurde 1490 in Zwickau geboren, wo er auch einige Jahre als Rektor einer Schule vorstand, und nannte sich, nach der damaligen Gelehrtenmode seinen Namen latinisierend, Agricola. Später studierte er in Leipzig und Italien Heilkunde und wirkte von 1527 an zuerst in Joachimstal, später in Chemnitz als Arzt. Er starb im Jahre 1555.

Das Interesse für den Bergbau und das Hüttenwesen seiner Heimat bewogen Agricola, die Zeit, welche der Beruf ihm übrig ließ, auf die Beobachtung jener Zweige der Gewerbtätigkeit zu verwenden und alles, was er vorfand, mit den mineralogischen Kenntnissen der Alten, deren Schriften ihm bekannt waren, zu vergleichen. Agricolas Aufmerksamkeit wurde auch dadurch auf die Mineralogie gelenkt, daß in der alten Literatur metallische Heilmittel erwähnt werden, deren man sich besonders bei äußeren Krankheiten bediente. Er sammelte jetzt alle mineralogischen Kenntnisse der Alten in der Hoffnung, damit seinen, im gewerblichen Leben stehenden Zeitgenossen nützen zu können. Zu seinem Erstaunen ward er aber gewahr, daß ohne jedes Zutun der zunftmäßigen Wissenschaft in den deutschen Gebirgsländern eine Kenntnis der Metalle, Mineralien und Gesteine, sowie der metallurgischen Prozesse entstanden war, die eine neue, den Alten fast unbekannte Welt bedeutete. Es galt nur, die Erfahrungen, Entdeckungen und Erfindungen, die man im Verlauf des Mittelalters gemacht hatte, in der Sprache der Gelehrten darzustellen, um so eine neue Wissenschaft den früheren anzureihen. „Dies getan zu

[1]) Es wurde im Jahre 1505 veröffentlicht. Der Titel lautet: „Ein wolgeordent vñ nutzlich büchlin wie man Bergwerck sůchen und finden sol / von allerley Metall / mit seinen figuren / nach gelegennheyt, deß gebijrges / artlych angezeygt / Mit anhangenden Bercknamen / den anfahenden Bergleuten vast dienstlich.“ In dem Buch spricht „Daniel der Bergner stendig / zum jungen Knappjo“. Einen Abdruck dieses seltenen Werkes hat die „Zeitschrift für Bergrecht“ in Band XXVI gebracht.

Siehe die Besprechung von O. Vogel in den Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwiss. 1909. S. 299. Ferner W. Jacobi, Das älteste Lehrbuch für den Bergbau. Der Erzbergbau 1909. Heft 3, S. 52.

haben und zwar mit eigener Einsicht und dem unabhängigen Eifer, der allein wissenschaftliche Erfolge zu sichern vermag, ist Agricolas Verdienst. Er hatte das Glück, nicht Anfänge oder zweifelhafte Versuche, sondern erprobte und zusammenhängende Kenntnisse, beinahe Systeme der Mineralogie und der Metallurgie darbieten zu können, die eine Grundlage der späteren Studien geworden sind[1]."

Als überzeugter Anhänger der Alchemie kann Agricola nicht mehr betrachtet werden. Nach einigen Zeugnissen soll er sogar an dieser Kunst gezweifelt haben. Jedenfalls sprach er sich gegen ihre Grundlehre, daß die Metalle aus Sulfur und Mercurius beständen, offen aus. Auch äußerte er sich über die Möglichkeit der Metallverwandlung sehr zurückhaltend. Die Ergebnisse seiner Bemühungen legte Agricola in mehreren Schriften nieder, die, wie Werner, der Lehrer Alexanders von Humboldt und Leopolds von Buch dankbar anerkannte, das Fundament der Mineralogie bis zur neuesten, insbesondere durch die drei genannten Forscher begründeten Epoche dieser Wissenschaft gewesen sind. Das bedeutendste unter den Werken Agricolas ist das im Jahre 1556 erschienene Bergwerksbuch[2]. Es bietet ein vollständiges Bild des damaligen Berg- und Hüttenwesens, sowie der Probierkunde und enthält zahlreiche, treffliche Holzschnitte, die nicht nur die hüttenmännischen Prozesse, sondern auch geologische Einzelheiten, wie Erzgänge, Durchsetzungen, Verwerfungen usw. darstellen. Von den neueren metallurgischen Verfahrungsweisen erwähnt Agricola auch den Amalgamationsprozeß, der für die Ausbeutung der neuentdeckten, an Gold und Silber reichen Länder Amerikas später eine solch große Bedeutung gewinnen sollte. Zwar war man schon im Altertum mit dem Verhalten des Quecksilbers gegen Gold und Silber bekannt. Die Verwendung des erstgenannten Metalles zur Gewinnung der Edelmetalle aus dem Muttergestein blieb jedoch der Neuzeit vorbehalten. Erfunden ist das Amalgamationsverfahren in Deutschland[3]. In großem Maßstabe wurde es aber zuerst in

---

1) Beckmann, Geschichte der Erfindungen III.
Siehe auch Ranke, Deutsche Geschichte im Zeitalter der Reformation. V. 348.

2) Agricolas Bergwerksbuch. Übersetzt von Bechius 1621. Vergleiche auch Agricolas mineralogische Schriften, übersetzt und mit Anmerkungen von E. Lehmann, Freiburg 1816. Der Titel des Originalwerks lautet: De re metallica libri XII. 1556.

3) Lindner, Gesch. IV. S. 431.

Mexiko[1]) und in Peru[2]) angewandt. D'Acosta hat es in seiner natürlichen und moralischen Geschichte[3]), welche uns auch über die ersten Entdeckungen auf botanischem und zoologischem Gebiete Auskunft gibt, beschrieben. Das Silbererz wurde der Einwirkung von Kochsalz und Quecksilber ausgesetzt und das gewonnene Amalgam durch Erhitzen zerlegt.

Ein Jahrzehnt vor dem Erscheinen des Bergwerksbuches veröffentlichte Agricola sein grundlegendes Buch über die Mineralien[4]). In diesem Werk begründete er das erste, auf den äußerlichen Kennzeichen beruhende Verfahren zur Bestimmung der Mineralien. Trotz aller Unvollkommenheiten verdient es doch Beachtung, weil die späteren Versuche von dem System Agricolas ausgingen. Agricola berücksichtigt die Farbe, den Glanz, die Durchsichtigkeit, Geschmack, Geruch und die Wirkung auf den Tastsinn (Fettigkeit, Glätte, Rauhigkeit etc.). Ferner kommen für ihn als Mittel zur genauen Beschreibung der Mineralien die Zähigkeit, Biegsamkeit, Schwere und Spaltbarkeit in Betracht. Seine Angaben über die Gestalt der Mineralien sind noch sehr unbestimmt. Er unterscheidet tafelförmige, eckige (drei- bis sechseckige und vieleckige) und gewissen Gegenständen ähnliche Mineralien (pfeilförmig, sternförmig, linsenförmig usw.). Die Brauchbarkeit dieser Übersicht wurde für spätere Mineralogen dadurch erhöht, daß jedes der erwähnten Kennzeichen nicht nur angegeben, sondern durch typische Mineralien erläutert und auf diese Weise gute Vergleichspunkte geschaffen wurden.

Schon während des Altertums hatte man die Versteinerungen von den Mineralien unterschieden und erstere ganz richtig als die Überreste organischer Wesen gedeutet. Im Mittelalter dagegen war man auf Grund der aristotelischen Lehre von der elternlosen Zeugung niederer Tiere zu der sonderbaren Vorstellung gelangt, daß die Versteinerungen einem im Erdinnern wirkenden Bildungstrieb, einer vis plastica oder formativa, ihren Ursprung verdankten[5]). Es dauerte Jahrhunderte, bis die im 15. Jahrhundert wieder auflebende Wissenschaft sich von dieser Lehre frei zu machen wußte.

---

1) Seit 1566.

2) Seit 1574.

3) Historia natural y moral de las Indias.

4) Georgius Agricola, De natura fossilium. Basel 1546.

5) Als Begründer dieser irrigen Ansicht ist Avicenna (980—1037) zu betrachten.

Ihren letzten Ausläufern begegnen wir sogar noch um die Mitte des 18. Jahrhunderts. Nach Agricolas Auffassung waren also die Versteinerungen Überreste von Organismen. Insbesondere macht Agricola diesen Ursprung für fossiles Holz, Blattabdrücke, Knochen und die bekannten Fischabdrücke des Mannsfelder Kupferschiefers geltend. Dagegen hält er die in den Gesteinen eingeschlossenen Muscheln, Ammonshörner und Belemniten für „verhärtete Wassergemenge.“ Auch in Frankreich und in Italien, wo es geringere Schwierigkeiten bot, die Ähnlichkeit fossiler Konchylien mit noch jetzt in den benachbarten Meeren lebenden Arten zu erkennen, neigten aufgeklärte Zeitgenossen Agricolas der richtigen Annahme zu, daß die Versteinerungen organische Überreste seien. Erst als die Geologie ihr Hauptziel in der Deutung des mosaischen Schöpfungsberichtes erblickte und die Versteinerungen für die wichtigsten Zeugen der Sintflut ausgab, fand diese Lehre allgemeinen Anklang. Der gleichen Ansicht wie Agricola waren auch Lionardo da Vinci und vor allem der in Verona lebende Arzt Fracastoro (1483—1553). Als man in Verona, bei der Errichtung von Bauten, Muscheln aus dem Erdinnern zutage förderte, erklärte Fracastoro, daß es sich hier nicht um die Schöpfungen einer vis plastica oder um Zeugen der Sintflut handeln könne. Etwaige Beweisstücke einer allgemeinen Überflutung müßten nämlich, wie er ausführt, die Oberfläche der Erde bedecken, während die gefundenen Dokumente tief im Boden gefunden seien. Als einzige Annahme bleibe übrig, daß die Versteinerungen von Geschöpfen herrühren, welche an der Stelle, wo sie sich befinden, früher gelebt haben und so erkennen lassen, daß das Meer einst dort wogte, wo jetzt festes Land ist.

Um die Mitte des 16. Jahrhunderts begegnen uns auch die ersten, mit Abbildungen versehenen Werke über Versteinerungen, unter denen dasjenige Geßners, des deutschen Plinius, hervorzuheben ist[1]). Allerdings gelangte auch er hinsichtlich der Versteinerungen zu keiner klaren Ansicht. Er vergleicht sie zwar mit Pflanzen und Tieren, ohne sie indessen bestimmt als Überreste organischer Wesen anzusprechen[2]).

Den Standpunkt Fracastoros vertrat unter den Schriftstellern, die im 16. Jahrhundert über Gegenstände der Geologie schrieben, vor allem der Franzose Bernhard Palissy. In einem,

1) Konrad Geßner, De omni rerum fossilium genere. 1565.

2) Zittel, Geschichte der Geologie und Paläontologie. 1899. S. 18.

klares Denken und vorurteilsfreie Beobachtung bezeugenden Werke weist er darauf hin[1]), daß manche Versteinerungen noch jetzt lebenden Tieren und Pflanzen gleichen und offenbar an Orten entstanden sind, die früher vom Meere oder von süßem Wasser bedeckt waren[2]).

1) Palissy, Discours admirable de la nature des eaux et fontaines, des métaux, des sels et salines, des pierres, des terres, du feu et des émaux. Paris 1580.

2) Zittel a. a. O., S. 22.

14. Die ersten Ansätze zur Neubegründung der organischen Naturwissenschaften.

Nicht nur für die anorganischen Naturwissenschaften, einschließlich der Mineralogie und der Geologie, wurden im 16. Jahrhundert Grundlagen geschaffen, auf denen sich mit Erfolg weiter bauen ließ, sondern das Gleiche gilt auch von den übrigen Gebieten der Naturbeschreibung, der Botanik, der Zoologie, sowie der Lehre vom Bau und von den Verrichtungen des menschlichen Körpers. Diese Gebiete wurden zunächst durch das Bekanntwerden der auf sie bezüglichen Schriften der Alten zu neuem Leben erweckt. Dann trat aber für sie noch ein zweiter günstiger Umstand hinzu. Infolge der Entdeckungsreisen und durch die daran sich knüpfenden neuen Handelsverbindungen wurde nämlich die europäische Menschheit mit einer solchen Fülle neuer Naturerzeugnisse bekannt, wie es nie zuvor in gleichem Maße geschehen war.

Die Geschichte der Entdeckungsreisen gilt schon in der üblichen, mehr das Persönliche und Zufällige schildernden Darstellung als eine der fesselndsten Episoden der Weltgeschichte. Sie gewinnt aber außerordentlich an allgemeinem Interesse, wenn wir sie in ursächliche Beziehung zu dem Gange der wissenschaftlichen Entwicklung setzen. Letztere ist es, welche die Entdeckungsreisen bedingt hat, um andererseits durch sie auch wieder den gewaltigsten Impuls zu empfangen.

Wir haben schon an anderer Stelle erfahren, daß die Schiffahrt gegen den Ausgang des Mittelalters durch die Einführung des Kompasses, sowie die Entwicklung der Astronomie und der auf astronomischen Prinzipien beruhenden nautischen Instrumente viel von ihren Gefahren und Zufälligkeiten verloren hatte. Infolgedessen vermochte die Nautik sich auch weitere Ziele zu stecken. Da der Verkehr zu Lande mit den südlichen und östlichen Teilen Asiens, die ja schon im Altertum in den Gesichtskreis der Europäer getreten waren und für Europa gegen den Ausgang des Mittelalters immer mehr an Bedeutung gewannen, in hohem Grade

mühsam, kostspielig und gefährlich war, so regte sich in weiterschauenden Männern der Gedanke, ob jene asiatischen Länder nicht durch eine Fahrt nach Westen oder durch eine Umschiffung Afrikas zu erreichen seien. Dieser Gedanke fand den günstigsten Boden in Portugal und Spanien, welche durch ihre Lage mehr als Italien auf das offene Meer hinausgewiesen waren und durch das Übergewicht, das Venedig im Mittelmeere ausübte, auf neue Wege für ihren Handel hingedrängt wurden.

In Portugal wurde dieses Streben besonders durch Heinrich „den Seefahrer“[1]) unterstützt. Um diesen scharten sich gelehrte und kühne Männer, unter anderen der Geograph und Astronom Martin Behaim[2]) aus Nürnberg. Um die Mitte des 15. Jahrhunderts begann das Vordringen entlang der Westküste Afrikas. Das Auftauchen bewaldeter Vorgebirge zerstörte zunächst das mittelalterliche Vorurteil, daß in der Nähe des Äquators alles Leben von der Glut der Sonne versengt sei. Ferner bemerkte man, daß die Küste Afrikas immer weiter nach Osten zurückweicht, wodurch die Hoffnung, einen östlichen Seeweg nach Indien zu entdecken, neue Nahrung empfing. Durch Bartholomeo Diaz, der 1486 die Südspitze des dunklen Erdteils erreichte, und durch Vasco de Gama, der 1498 nach der Umschiffung Afrikas in Ostindien landete, wurde diese Hoffnung endlich verwirklicht. Rasch breiteten sich die Herrschaft und der Handel der Portugiesen über das südliche Asien und die im Südosten dieses Kontinentes gelegenen Inseln aus. Mit welcher Fülle von neuen Naturerzeugnissen die europäische Menschheit dadurch bekannt wurde, kann hier nur angedeutet werden. An den Küsten und auf den Inseln Ostafrikas fielen besonders die gewaltigen Dracaenen und der riesige Brotfruchtbaum (Adansonia digitata) auf. In Ceylon gelangte man in den Besitz der Zimtwälder. Man wurde mit der wunderbaren maledivischen Nuß, mit dem Gewürznelkenbaum und denjenigen Pflanzen bekannt, welche die Muskatnüsse, den Kampfer, Benzoe, Indigo, Strychnin usw. liefern. In nicht geringerem Maße wurde die Wissenschaft durch die Entdeckung zahlreicher neuer Tierformen bereichert; und der gelehrte Clusius (geb. zu Arras 1526) unternahm es, das Wichtigste über die neuen fremdländischen Naturerzeugnisse zusammenzustellen[3]). Bei Clusius begegnen uns zum ersten Male, in Abbildungen und Beschreibungen

[1]) Den jüngsten Sohn König Johanns des Ersten.

[2]) S. S. 309.

[3]) Exoticorum libri X.

der fliegende Hund, der Molukkenkrebs, die gewaltigen, plumpen, zur Ordnung der Waltiere gehörenden Sirenen, der heute ausgestorbene Dodo, jener unbeholfene Vogel, den Vasco da Gama auf den Mascarenen in so großer Menge antraf. Auch die Bewohner Amerikas, seine Faultiere, Gürteltiere und Kolibris und endlich die so abenteuerlich gestalteten Fische, welche das Meer der Tropen beleben, schildert Clusius.

Den Portugiesen wurde der indische Handel durch die Niederländer entrissen, deren Seegeltung so machtvoll emporwuchs, nachdem sie das spanische Joch abgeschüttelt hatten. Die wissenschaftliche Erforschung der neuentdeckten Länder nahm unter diesem Volke, das auch daheim den regsten wissenschaftlichen Sinn bekundete, einen bedeutenden Aufschwung. War doch auch Clusius ein Niederländer.

Der Gedanke, durch eine Seefahrt nach Westen die Küsten Ost- und Südasiens zu erreichen, tauchte im Renaissancezeitalter zuerst in dem Florentiner Astronomen Toscanelli (1397—1482) auf. Dieser Mann, der auch durch seine Einwirkung auf Nicolaus von Cusa zum Wiederaufleben der Astronomie in Deutschland beigetragen hatte, wußte den großen Genuesen, dem Europa die Entdeckung der westlichen Hemisphäre verdankt, für seinen Gedanken zu erwärmen. Dennoch sollten zehn Jahre nach dem Tode Toscanellis verfließen, bis Columbus nach der Überwindung zahlloser Schwierigkeiten in Westindien landete. Schon auf der ersten Reise wurde man mit dem Tabak, der Yamswurzel, der amerikanischen Baumwolle und dem Mais bekannt. Bald folgte die Entdeckung der Ananas, von Agave Americana, Theobroma Cacao, der Batate, der Sonnenblume, von Manihot und zahlreichen anderen wichtigen und charakteristischen amerikanischen Pflanzen.

Nachdem Cabot (1497) das nordamerikanische Festland, Cabral (1500) Brasilien entdeckt, und Cortez und Pizzaro erobernd in das Innere des neuen Kontinentes eingedrungen waren, begann eine sorgfältige naturgeschichtliche Erforschung der neuen Länder. Vor allem waren es gelehrte Kleriker, die sich dieser Aufgabe mit Eifer und Erfolg widmeten. So schrieb der Jesuit d'Acosta eine „natürliche und moralische Geschichte der Indier“, in welcher auch die gewaltigen fossilen Knochen Südamerikas Erwähnung finden. D'Acosta hielt sie für Überreste von Riesen und erörtert ganz ernsthaft die Frage, wie die Tiere Amerikas nach ihrem heutigen Wohnsitz gelangten, da sie doch in der Arche Noahs eingeschlossen gewesen seien.

Mit noch größerem Eifer als den Pflanzen und den Tieren wandte man sich den Bodenschätzen der neu entdeckten Länder zu. In Mexiko und Peru wurde der Bergbau bald mit so großem Erfolge betrieben, daß die Einfuhr des dort gewonnenen Edelmetalls in Europa umgestaltend auf die wirtschaftlichen Verhältnisse dieses Erdteils wirkte. Auf die Erschließung des neuen Kontinentes folgte alsbald ein Austausch seiner Erzeugnisse mit denjenigen der alten Welt. So wird der Tabak schon 1559 in Portugal gebaut[1]), um in Europa zunächst als Mittel gegen Geschwüre Verwendung zu finden. Zu den ersten, die ihn rauchten, gehörte der große Naturforscher Geßner. Die neue Welt empfing dagegen den Kaffeebaum, das Zuckerrohr und die Obstarten.

Hand in Hand mit der unendlichen Bereicherung, welche die Wissenschaft durch die Entdeckungsreisen erfuhr, ging ein Aufschwung der gesamten Kultur und eine Erweiterung des gesamten Gesichtskreises, wie ihn kein früheres oder späteres Zeitalter erfahren. Der Handel hörte auf, das Privilegium einiger mächtigen süd- und mitteleuropäischer Städte zu sein und wurde Welthandel. Die Mittelmeerländer waren nicht fürder eine Welt für sich, sondern die ganze Erde wurde zu einer Domäne der weißen Rasse. Und innerhalb dieser Rasse erlangte endlich immer mehr das germanische Element das Übergewicht. Waren doch die Völker germanischen Stammes den Romanen an Tatkraft überlegen, an Intelligenz mindestens gleichwertig und endlich durch ihre Wohnsitze am offenen Weltmeer auf die Fortentwicklung des durch die Entdecker und Konquistadoren eröffneten Welthandels ganz besonders hingewiesen. Alles Momente, welche in Verbindung mit der im nördlichen Europa entstehenden Glaubens- und Gewissensfreiheit, die Verpflanzung der in Italien wiedergeborenen Wissenschaft nach Mittel- und Nordwesteuropa ganz besonders begünstigten.

Wir wenden uns nach diesen allgemeineren Ausführungen den organischen Naturwissenschaften im einzelnen zu. Daß man im Zeitalter der Renaissance und der Entdeckungsreisen die Augen öffnen lernte und die Fesseln des Autoritätsglaubens und der Büchergelehrsamkeit abstreifte, ist für die weitere Entwicklung der beschreibenden Naturwissenschaften von großem Einfluß gewesen. Waren diese Wissenszweige früher nur nebenbei und meist zu Heilzwecken gepflegt worden, so bot sich jetzt eine solche Fülle

[1]) Sprengel, Geschichte der Botanik. I. 352.

von neuem Material, daß die Tätigkeit derjenigen, die sich der Naturbeschreibung widmeten, dadurch vollauf in Anspruch genommen wurde. Damit trat die Beziehung dieser Fächer zur Heilkunde ihrer eigenen Bedeutung gegenüber allmählich zurück.

Besonders für die Botanik trat im 16. Jahrhundert der Zeitpunkt ein, daß dieser Wissenszweig sich über die Grenzen der Heilmittellehre hinaus entwickelte, indem man die Pflanzen ihrer selbst wegen zu betrachten begann[1]). Auch wurde mit dem lange herrschenden Vorurteil gebrochen, als hätten die Alten schon die ganze Fülle der Pflanzenwelt erschöpft. Der Trieb nach eigener wissenschaftlicher Betätigung äußerte sich auf botanischem Gebiete in diesem Zeitalter vor allem darin, daß eine Anzahl von Spezialfloren mit Abbildungen, die sogenannten Kräuterbücher, entstanden. In weiten Kreisen wurde diesen Erzeugnissen des emporblühenden Buchgewerbes Interesse entgegengebracht. Infolgedessen verwandten die Verleger die größte Sorgfalt auf die Ausstattung der Kräuterbücher mit musterhaften Abbildungen. Und in dem Maße, wie die Kunst des Holzschnittes auf diesem Gebiete Fortschritte machte, nahm auch die Fähigkeit des Beschreibens mit zutreffenden Worten einen Aufschwung. Infolge der zunehmenden Pflanzenkenntnis und der Verschärfung der Beobachtung wurde aber auch die natürliche Verwandtschaft immer mehr durchgefühlt, so daß man häufig zur Vereinigung verwandter Arten zu Gattungen, ja selbst ähnlicher Gattungen zu familienartigen Gruppen gelangte. Einen Ansatz zu dieser Art von Systematik hatte zwar schon das Altertum zu verzeichnen, indem z. B. Theophrast verschiedene Arten von Eichen, Fichten usw. zusammenfaßte. Da jedoch die allgemeine Botanik, abgesehen von dem vereinzelt gebliebenen Bemühen des Albertus Magnus, keine Fortschritte gemacht hatte, so verfuhr man bei diesen ersten Schritten an der Schwelle der Neuzeit mehr intuitiv, ohne imstande zu sein, die gewonnenen Begriffe durch klare Definitionen festzuhalten.

Der im vorstehenden kurz gekennzeichnete Fortschritt der Botanik ist vor allem das Verdienst einiger deutschen Gelehrten, die man wohl als die Väter der Pflanzenkunde bezeichnet hat. Sie heißen Brunfels, Bock und Fuchs. Mit demselben Rechte, mit dem man Agricola den Vater der neueren Mineralogie genannt hat, kann man die Genannten als die Begründer der neueren Botanik bezeichnen. Ihre Kräuterbücher wurden dadurch veran-

[1]) Meyer, Geschichte der Botanik. Bd. IV. S. 290.

laßt, daß die kommentatorischen Bemühungen, welche man auf die botanischen Werke der Alten verwendet hatte, aus mehreren Gründen gescheitert waren. Bei dem Glauben an die Unfehlbarkeit der Alten war man nämlich an ihre botanischen Schriften in der Meinung herangetreten, daß die darin abgehandelten Pflanzen das gesamte Pflanzenreich darstellten. Des weiteren suchte man die von den Alten beschriebenen Pflanzen, ohne von der geographischen Verbreitung eine klare Vorstellung zu besitzen, in Mitteleuropa, wo sie bei der bedeutenden Verschiedenheit der Floren Griechenlands und Deutschlands nur zum kleinsten Teil gefunden werden konnten. Erst als man die Unhaltbarkeit jener Voraussetzungen einsah, verlegte man sich auf das genaue Beschreiben derjenigen Gewächse, die man in der Heimat vorfand.

An der Spitze der neueren Botaniker steht Otto Brunfels. Brunfels wurde um 1490 in der Nähe von Mainz geboren und empfing dort gelehrten Unterricht. Nachdem er einige Zeit ein Schulamt bekleidet, erwarb er die Würde eines Doktors der Medizin[1]). Sein Hauptverdienst um die Botanik besteht darin, mit Hilfe eines hervorragenden Künstlers die erste Sammlung naturgetreuer, künstlerisch vollendeter Pflanzenabbildungen herausgegeben zu haben. Das Werk erschien unter dem Titel „Herbarum vivae eicones“ im Jahre 1532. Es enthielt mehrere hundert Abbildungen in so sicheren Umrissen, daß die dargestellten Pflanzen gar nicht verkannt werden konnten. Es handelt sich dabei in erster Linie um die wildwachsenden, häufiger vorkommenden Pflanzen der oberrheinischen Tiefebene.

Der Text, den Brunfels diesen Abbildungen beigegeben, ist von geringerem Wert. Er lehnt sich noch in der Hauptsache an die älteren Schriftsteller an und ist bestrebt, die heimatlichen Pflanzen mit den von Dioskorides, Plinius und Galen beschriebenen zu identifizieren. Brunfels gab seinem Kräuterbuche folgende Einrichtung. Unter jede Abbildung setzte er zuerst einen

1) Eine ausführliche Schilderung des Lebenslaufes von Brunfels und seiner Verdienste um die Botanik enthält die Abhandlung von F. W. E. Roth, „Otto Brunfels, 1489—1534, ein deutscher Botaniker.“ Botanische Zeitung 1901. S. 191 u. f. Brunfels trat als Kartäusermönch mit den bedeutendsten Humanisten, darunter mit Ulrich von Hutten, in Verbindung. Mit Hilfe des letzteren entfloh Brunfels dem Kloster, um offen als Lutheraner aufzutreten. Später wirkte er als Lehrer am Gymnasium in Straßburg. Er starb im Jahre 1534, nachdem er einige Jahre vorher die medizinische Doktorwürde erworben hatte.

deutschen Namen. Hinzugefügt wurden dann die lateinischen und die griechischen Benennungen, sowie Angaben aus Theophrast, Dioskorides, Plinius usw. Den Schluß bildeten Angaben über die Wirkungen der Pflanzen.

Die ersten Versuche, die heimatlichen Pflanzen naturgetreu abzubilden, wurden übrigens in Deutschland schon vor Brunfels im 15. Jahrhundert gemacht. Es gebührt deshalb den Deutschen das große Verdienst, die Naturkunde wieder auf eigene Beobachtung gegründet und sich von den überkommenen Schriften der Alten, die bis zum 15. Jahrhundert als einzige Quelle dem Studium zugrunde gelegt wurden, zuerst frei gemacht zu haben. Daß dieser erste Versuch ein nur schüchterner und unvollständiger war und der neueren Wissenschaft nur nach und nach die Flügel wuchsen, liegt in der Natur der Sache.

Ein Mitarbeiter des Brunfels ist Hieronymus Bock[1]). Bock wurde 1498 in der Nähe von Zweibrücken geboren, studierte alte Sprachen und wurde durch den Pfalzgrafen von Zweibrücken mit der Aufsicht über dessen Garten betraut. Zu gleicher Zeit bekleidete er die Stelle eines Lehrers. Bock stellte botanische Wanderungen in der Eifel, dem Hunsrück, den Vogesen, dem Jura, den Schweizer Alpen an und beobachtete überall die dort wachsenden Pflanzen mit der größten Sorgfalt. Sein Fehler, dem jedoch sein Zeitgenosse Fuchs, wie wir gleich hören werden, entgegentrat, bestand darin, daß er den von ihm aufgefundenen Pflanzen griechische und lateinische Namen der alten Botaniker beilegte, mit welchen diese ganz andere, in Südeuropa heimische Gewächse bezeichnet hatten.

Bock wagt sogar den Versuch einer natürlichen Anordnung und stellt zum Beispiel die Lippenblüter, die Kompositen und die meisten Kreuzblüter zusammen. Das Werk, das ihn in der Geschichte der Botanik unsterblich gemacht hat, führt den Titel „New Kreutterbuch“[2]). Es erschien zuerst im Jahre 1539 und zwar ohne Abbildungen, während die späteren Auflagen mit solchen versehen waren. Die Abbildungen Bocks bleiben hinter denjenigen des Brunfels zurück, dafür hat es aber Bock in der Kunst des Beschreibens viel weiter gebracht als jener, so daß er sich den

1) Brunfels lernte, wahrscheinlich im Jahre 1533, die Sammlungen Bocks kennen und veranlaßte ihn zur Herausgabe des Kräuterbuches.

2) Hieronymus Bock (1498—1554), New Kreuterbuch von Underscheidt, Würkung und Namen der Kreuter, so in teutschen Landen wachsen.

Ruhm erwarb, er vermöge in seinen Beschreibungen die Natur wirklich zu malen. Vor allem versteht es Bock, den ganzen Habitus der Pflanze vortrefflich zu beschreiben, während er auf die Beschreibung der Blumen und Früchte geringere Sorgfalt verwendet. Auch berücksichtigt er keine Pflanze, die er nicht selbst gesehen, „sovil derselben im Teutschen Land ihm zu handen gestoßen“. Auch das Vorkommen und die Zeit des Blühens der beschriebenen Pflanzen findet sich berücksichtigt. Ferner erklärt sich Bock entschieden gegen die alphabetische Anordnung, durch welche ähnliche Pflanzen getrennt würden. Im ganzen hat Bock sechshundert Pflanzen beschrieben.

Als Probe möge hier seine Beschreibung der Ackerwinde (Convolvulus arvensis) und der Zaunwinde (Convolvulus sepium) Platz finden. Sie lautet: „Zwei gemeine Windenkräuter wachsen in unserem Land allenthalben mit weißen Schellen- oder Glockenblumen. Das größte sucht seine Wohnung gern bei den Zäunen, kriecht über sich, wickelt und windet sich. Das kleine Glockenkraut (C. arvensis) ist dem großen in der Wurzel, den runden Stengeln, den Blättern und den Glocken gleich, in allen Dingen aber dünner und kürzer. Etliche Glockenblumen an diesem Gewächs werden ganz weiß, etliche schön leibfarben, mit braunroten Strömlein gemalt. Diese wachsen in dürren Wiesen und Gärten. Es schadet dadurch, daß es mit seinem Kriechen und Umwickeln andere Gartenkräuter zu Boden drückt. Auch ist es schwer auszurotten.“

Die Anordnung der Pflanzen in den Kräuterbüchern war meist die alphabetische. Allmählich entwickelte sich aber auf Grund der zahllosen Einzelbeobachtungen das Gefühl für die Zusammengehörigkeit des Ähnlichen und damit die Voraussetzung zur Begründung eines natürlichen Systems. So wurden bald die Nadelhölzer, die Lippenblüter, die Korbblüter und andere Familien als natürliche Gruppen herausgefühlt, ein großer Fortschritt gegen die Einteilung in Bäume, Sträucher und Kräuter, der wir im Altertum zumeist begegnen. Das medizinische Element nahm jedoch in den Kräuterbüchern immer noch einen breiten Raum ein, wie es auch bei der Anlage botanischer Gärten maßgebend war. Naiv genug mutet uns noch manches in den Kräuterbüchern, diesen Erstlingserzeugnissen der neueren botanischen Wissenschaft, an. So beginnt Bock mit folgenden Worten: „Nach Erkundigung aller Geschrift erfindet sichs klar, daß der allmächtige Gott und Schöpfer der allererste Gärtner, Pflanzer und Baumann aller Gewächse ist.“

Sodann wird Adam als der zweite Botaniker gepriesen, weil er alle Pflanzen mit ihrem rechten Namen belegt habe. Auf ihn folgen die Botaniker Kain, Noah usw.

Als dritter in der Reihe der Begründer der neueren Botanik ist der Bayer Leonhard Fuchs zu nennen. Er wurde 1501 geboren, studierte wie seine Vorgänger Medizin und alte Sprachen und gab im Jahre 1542 seine berühmte „historia stirpium“, eine Beschreibung vieler in Deutschland wild wachsender Pflanzen heraus, zu denen noch etwa 100 Gartenpflanzen kamen. Das Werk stellt sich denjenigen von Bock und Brunfels als ebenbürtig an die Seite. Fuchs war ein sehr gelehrter Mann. Seine eindringende Gelehrsamkeit ließ ihn die Mängel, welche den arabischen Schriften über Medizin und Botanik und ihren lateinischen Nachahmungen anhafteten, klar erkennen. Er drang deshalb darauf, daß man in der Medizin auf die griechischen Urschriften, in der Botanik aber auf die Natur selbst zurückgehen solle. Letzteres erschien ihm als der einzige Ausweg, aus der Verwirrung herauszukommen, welche durch die Übertragung der alten Pflanzennamen auf die heimatlichen Gewächse entstanden war[1]).

Weit vielseitiger und vorgeschrittener als die drei genannten Männer war der große Polyhistor Konrad Geßner, ein Mann, der für sein Zeitalter etwa die Bedeutung besaß, wie sie Albert dem Großen für das 13. Jahrhundert beizumessen ist. Konrad Geßner wurde im Jahre 1516 in Zürich als der Sohn eines armen Kürschners geboren. Er erhielt jedoch mit Unterstützung seines Oheims eine gute Schulbildung. Sein Oheim, der ein großer Gartenfreund war, erweckte auch in dem jungen Geßner die Liebe zur Naturwissenschaft. Geßner studierte in Straßburg und Paris Medizin und Naturwissenschaften. Bedenkt man, daß derselbe Mann auch praktischer Arzt war und eine Zeitlang eine Professur der griechischen Sprache bekleidete, so erhalten wir einen Begriff von der vielseitigen Gelehrsamkeit, die uns in der auf das Emporblühen des Humanismus folgenden Zeit so häufig begegnet. Seine Neigung zur universalen Bildung brachte ihn mit den mannig-

---

[1]) Einige der von Fuchs zum ersten Male abgebildeten deutschen Arten seien hier aufgezählt: Ligustrum vulgare, Salvia pratensis, Hordeum vulgare, Avena sativa, Convolvulus arvensis, Lysimachia Nummularia, Cyclamen europaeum, Lilium candidum, Paris quadrifolia, Daphne Merzereum, Saponaria officinalis, Euphorbia Cyparissias, Prunus spinosa, Clematis Vitalba, Ranunculus acris, Digitalis purpurea, Genista tinctoria, Orchis Morio, Equisetum arvense, Pteris aquilina usw.

faltigsten älteren und neueren Schriftwerken in Berührung[1]. Zunächst verwaltete Geßner ein Lehramt. Dann ließ er sich als Arzt in Zürich nieder, wo er gleichzeitig eine Professur für Philosophie bekleidete. Erst 1558 erhielt er die sichere und besser besoldete Professur für Naturgeschichte. Aber schon wenige Jahre später, im Dezember 1565 wurde er durch die Pest dahingerafft.

Das Lebenswerk Geßners ist eine große Naturgeschichte der Pflanzen und Tiere, ein Unternehmen, das Zeit und Kräfte des Einzelnen trotz unermüdlicher Arbeit bei weitem überstieg. Für die Naturgeschichte der Pflanzen hat Geßner im wesentlichen nur die Abbildungen, etwa 1500 an der Zahl, gesammelt und gezeichnet oder zeichnen lassen. Das große Verdienst, das er sich trotzdem um die Botanik erworben hat, besteht darin, daß uns in seinen Abbildungen zum ersten Male genaue Zeichnungen der Blütenteile und der Früchte begegnen, welche seine Vorgänger fast ganz vernachlässigt hatten[2]. Aus Geßners Briefen geht hervor, daß er diesen Teilen der Pflanze besonderen Wert beilegte, wenn es sich um die Verwandtschaft handelte. Er unterscheidet auch mit klaren Worten Gattungen und Arten. „Ich halte dafür", sagt er, „daß es fast keine Pflanzen gibt, die nicht eine Gattung bilden, welche wieder in zwei oder mehr Arten zu teilen ist"[3]. Auch der Begriff der Spielart begegnet uns schon bei Geßner. Als ihm einst ein Zweig von Ilex aquifolium gesandt wurde, dessen Blätter nur eine Spitze aufwiesen, bat er den Einsender festzustellen, ob diese Abweichung konstant sei oder nicht.

Auf den Gedanken, medizinisch wertvolle und auch andere Pflanzen nicht nur vom Zufall geleitet im Freien zu suchen, sondern sie in Gärten anzubauen, um dadurch jederzeit über sie verfügen zu können, begegnet uns zu allen Zeiten. Von den Gärten, welche Theophrast und Mithridates unterhalten haben sollen können wir uns keine Vorstellung mehr machen. Besser sind wir durch die Kapitularien über die Gärten Karls des Großen unterrichtet[4]. Von dem Kalifen Abdurahman I. wird erzählt daß er einen botanischen Garten bei Cordova anlegen und ihn mit Gewächsen Asiens bepflanzen ließ[5]. Die Gärten, welche in Salerno

[1]) Meyer, Geschichte der Botanik, Bd. III. S. 325.

[2]) Conradi Gesneri opera botanica. 2 Bde. Nürnberg 1751—1771. Dieser Nachlaß Geßners wurde also erst lange nach seinem Tode herausgegeben (durch Schmiedel).

[3]) Meyer, Geschichte der Botanik, Bd. IV. S. 334.

[4]) S. S. 260.

[5]) A. v. Humboldt, Kosmos II. 256.

und in Venedig im 14. Jahrhundert entstanden, dienten wohl nur medizinischen Zwecken. Den venetianischen Garten legte ein Arzt an, um „die für seine Kunst erforderlichen Kräuter zur Hand zu haben“ [1]). Ein im eigentlichen Sinne botanisches Forschungsmittel von höchstem Werte wurde aus solchen Gärten erst, als man sie seit der Mitte des 16. Jahrhunderts als ein notwendiges Requisit der Universitäten zu betrachten anfing und gleichzeitig die Botanik über eine bloße Heilmittellehre hinaushob.

Die ersten Universitätsgärten entstanden in Padua und Pisa [2]). In Pisa waren es die Mediceer, welche Land für einen solchen Garten zur Verfügung stellten und dafür sogar Samen und Pflanzen im fernen Orient sammeln ließen. Bald darauf erhielten auch Florenz und Bologna botanische Gärten. In Venedig sorgten die Cornaros und die Moresinis durch ihren weitverzweigten Handel und die Anlage von Gärten gleichfalls für die Belebung des botanischen Interesses. Nachdem die reichen italienischen Handelsstädte ein solch rühmliches Beispiel in der Pflege der mit ihren Interessen Hand in Hand gehenden Naturwissenschaft gegeben, wollten auch die übrigen Länder in der Betätigung dieses Sinnes nicht zurückstehen. So entstanden denn in Montpellier, in Bern, Basel, Straßburg, Antwerpen, Leipzig, Nürnberg und an manchen anderen Orten, teils in Verbindung mit Universitäten, teils aus privaten Mitteln, noch im 16. Jahrhundert Institute, welche als botanische Gärten bezeichnet werden können. Etwa zur selben Zeit begegnet uns zum erstenmale das Verfahren, Pflanzen zu pressen und in Herbarien auf Papier geklebt aufzubewahren. Das Herbarium Bauhins (1550—1624) wird noch heute in Basel aufbewahrt [3]).

Wie auf botanischem, so regte sich auch auf zoologischem Gebiete das Bestreben, über das von den Alten überlieferte Maß an Kenntnissen hinauszuschreiten und die bekannten Tierformen, deren Zahl sich durch Entdeckungsreisen immerfort vergrößerte, auf Grund eigener Beobachtung zu beschreiben und mit möglichster Naturtreue darzustellen. So entstanden mehrere umfassende Werke, wie dasjenige des Schweizers Konrad Geßner (1516—1565) und und des Italieners Aldrovandi (1522—1607).

Weit größer als in der Botanik war Geßners Einfluß auf die Entwicklung der Zoologie. Hier gebührt ihm das große Verdienst, zum ersten Male die zu seiner Zeit bekannten Tierformen

1) Pro herbis necessariis artis suae.

2) 1540 und 1547.

3) Meyer, Geschichte der Botanik. IV. 270.

vom Standpunkte des Naturforschers aus geschildert zu haben. Dies geschah in seiner großen, vom Jahre 1551 ab erschienenen Geschichte der Tiere (Historiae animalium lib. V). Von den fünf Foliobänden behandelt der erste die Säugetiere, der zweite die eierlegenden Vierfüßer, der dritte die Vögel und der vierte die Fische und Wassertiere. Ein fünfter, die Insekten behandelnder Band wurde aus Geßners Nachlaß zusammengestellt. Geßner, dem sein Vaterland das erste Naturalienkabinett verdankt, beschrieb in seinem Werke den äußeren Bau der Tiere unter Berücksichtigung ihres Vorkommens, ihrer Lebensweise, des Nutzens, den sie gewähren usw. Seine Anordnung ist die alphabetische, was in bezug auf Systematik gegen Aristoteles, welcher die großen natürlichen Gruppen, wie wir sahen, schon erkannt hatte, einen offenbaren Rückschritt bedeutet. Doch macht sich bei Geßner das Bestreben geltend, die Zoologie von den gerade auf diesem Gebiete so sehr überwuchernden Fabeln zu reinigen. Letztere werden zwar gewissenhaft angeführt, doch geschieht dies nicht, ohne daß Bedenken dagegen erhoben werden.

Während Albert der Große das zoologische Wissen im engen Anschluß an die dem Abendlande übermittelten naturwissenschaftlichen Schriften des Aristoteles wiederzugeben suchte, ging Geßners Plan dahin, unter Einschränkung des in den mittelalterlichen Schriften überwuchernden philologischen Verbalismus, alles was man zu seiner Zeit vom Tierreich wußte, zusammenfassend darzustellen. Gleichzeitig suchte er jede Tierform, die er zum Gegenstande seiner Betrachtung machte, unter Berücksichtigung der Medizin und der Kulturgeschichte zu schildern. War auch die Anordnung, die er innerhalb der großen, natürlichen, schon Aristoteles geläufigen Gruppen befolgte, die alphabetische, so erkennt er doch selbst an, daß ein solches Verfahren sich nur aus Gründen der Bequemlichkeit empfiehlt und naturwissenschaftlich von keinem Wert sei. Jedes Geschöpf wird in Geßners Geschichte der Tiere nach folgenden Gesichtspunkten behandelt. Der erste Abschnitt gilt der Nomenklatur. Der zweite ist der wertvollste; er betrifft das Vorkommen und bringt die Beschreibung des Tieres. Dann folgt eine Schilderung der biologischen Erscheinungen unter Berücksichtigung der Krankheiten. Hieran schließt sich eine Schilderung des seelischen Lebens, d. h. der dem Instinkt entspringenden Handlungen. Die folgenden Abschnitte handeln dann von dem Nutzen der Tiere, insbesondere ihrer Jagd, Haltung und Zähmung, ferner von ihrer Nahrung, den Heilmitteln, die sie etwa darbieten usw.

Mitunter fehlen auch nicht die Fabeln, Wundergeschichten und Weissagungen, die man von jeher an manche Tierarten geknüpft hatte. Solche Mitteilungen gibt Geßner indessen mehr der Vollständigkeit halber und nicht etwa kritiklos wie manche seiner Vorgänger. Dabei versäumt er selten das Unwahrscheinliche zurückzuweisen oder wenigstens seinem Zweifel Ausdruck zu verleihen. Besteht doch der große Fortschritt, der sich bei Geßner geltend macht, darin, daß er seine Beschreibungen nach planmäßiger Beobachtung abfaßte, während man vor ihm die eigene Beobachtung nur gelegentlich zur Bestätigung der überlieferten Angaben anwandte und diesen stets den ausschlaggebenden Wert beimaß. Ferner beschränkt sich Geßner nicht auf eine Beschreibung des äußeren Körperbaues, sondern er geht auch auf anatomische Eigentümlichkeiten ein. Doch werden diese noch nicht durch Vergleichung in Beziehung gesetzt, so daß es an einer wissenschaftlichen Verwertung der anatomischen Kenntnisse zur festeren Begründung natürlicher Gruppen bei Geßner noch fehlt.

Dem Menschen hat Geßner keinen Platz innerhalb des Tierreiches angewiesen. In bezug auf die Abbildungen ragt sein Werk über alle früheren zoologischen Schriften hervor. Unter den Künstlern, die ihm zur Seite standen, ist Albrecht Dürer zu nennen.

Beruht das Werk Geßners auch zum größten Teile auf der Verarbeitung des zu seiner Zeit vorhandenen zoologischen Wissens, so ist ihm deshalb doch nicht etwa der Vorwurf der bloßen Kompilation zu machen. „Das Talent zu einer solchen“, sagt Ranke[1]), „ist nicht so häufig, wie man meint. Soll sie der Wissenschaft dienen, so muß sie nicht allein aus vielseitiger Lektüre hervorgehen, sondern auf echtem Interesse und eigener Kunde beruhen und durch feste Gesichtspunkte geregelt sein. Ein Talent dieser Art von der größten Befähigung war Konrad Geßner.“

Geßner ist als der früheste deutsche Zoologe zu bezeichnen. Sein Werk über das Tierreich[2]) ist die Grundlage für die neuere systematische Zoologie geworden, weil er das gesamte Wissen der alten und der arabischen Schriftsteller mit dem zoologischen Wissen seiner Zeit zu verschmelzen verstand. Geßners Grundsatz war, nichts zu wiederholen und nichts fortzulassen. Da ein einzelner

1) L. Ranke, Deutsche Geschichte im Zeitalter der Reformation. 5 Bd. 4. Aufl. S. 346.

2) Conradi Gesneri historiae animalium libri, opus philosophis, medicis, grammaticis, philologis, poetis et omnibus rerum linguarumque variarum studiosis utilissimum simul jucundissimumque.

die unermeßliche Arbeit nicht bewältigen konnte, setzte er zahlreiche einheimische und auswärtige Hilfskräfte in Bewegung. War somit auch sein Werk in erster Linie die Leistung eines geschickten, seinen Stoff beherrschenden Sammlers, so ist doch sein Nutzen für das Leben nicht minder wie für die Wissenschaft ein bedeutender gewesen.

Auf dem Boden Italiens erstand Geßner ein gleichstrebender Genosse in dem etwas jüngeren Aldrovandi. Auch er versuchte eine enzyklopädische Darstellung der Tierkunde, welche im ganzen die Arbeit Geßners nicht erreicht, in Hinsicht auf die anatomischen Verhältnisse und die Anordnung indessen einen Fortschritt darbietet[1]. Den Versuch einer mehr systematischen, auf die großen aristotelischen Gruppen zurückgehenden Anordnung des Tierreichs hatte in der Zeit zwischen dem Erscheinen des Geßnerschen Werkes und desjenigen Aldrovandis mit gutem Erfolge der Engländer Edward Wotton (geboren in Oxford 1492) gemacht. Auf dieser Grundlage konnte Aldrovandi fußen. Wotton gab im Jahre 1552 eine Schrift „Über die Verschiedenheiten der Tiere“[2] heraus, die nicht nur eine allgemeine Schilderung des tierischen Organismus und seiner Teile enthält, sondern auch eine auf den Grundzügen der natürlichen Verwandtschaft beruhende Übersicht bietet. Gleich Aristoteles beginnt Wotton die Reihe der blutführenden Tiere mit dem Menschen. Es begegnen uns die Gruppen der Einhufer, der Zweihufer und der Spaltfüßer. Die eierlegenden Vierfüßer werden mit den Schlangen zusammengefaßt. Die niederen Tiere werden in Insekten, Weichtiere (Kopffüßer), Krustentiere, Schaltiere und Pflanzentiere eingeteilt. Zu letzteren rechnet Wotton schon die Seesterne, Medusen, Holothurien und Schwämme. Wotton machte also, im Anschluß allerdings an Aristoteles zum ersten Male unter den Neueren den Versuch einer naturgemäßen Einteilung des genannten Tierreichs, und hierin folgte ihm Aldrovandi, der im Jahre 1599 die Herausgabe seines großen zoologischen Werkes begann. Es sollte zwar die ganze Naturgeschichte umfassen, doch konnte Aldrovandi selbst nur fünf Bände erscheinen lassen, nämlich drei Bände über die Vögel, einen Band über die Insekten und endlich einen Band über die „übrigen Blutlosen“. Die weiteren Bände wurden von anderen Zoologen herausgegeben.

[1] Ulisse Aldrovandi wurde 1507 in Bologna geboren. Er gründete dort 1567 einen botanischen Garten. Sein Nachfolger in der Leitung dieses Gartens war der Botaniker Caesalpin. Aldrovandi, Opera omnia, 13 Bde.

[2] De differentiis animalium.

Aldrovandi konnte infolge der ausgedehnten Entdeckungsreisen seines Zeitalters manche Tierform berücksichtigen, die Geßner noch nicht kannte, doch verfährt er im allgemeinen mehr kompilatorisch und weniger kritisch als sein großer Vorgänger. Trotz seines Strebens nach besserer systematischer Gruppierung bringt er es noch fertig, die Fledermaus und den Strauß zu einer Abteilung der „Vögel mittlerer Natur" zu vereinigen, während schon Wotton die Fledermäuse den Säugetieren zugerechnet hatte.

Ein weiterer, wichtiger Fortschritt auf zoologischem Gebiete bestand darin, daß man sich nicht mehr auf das Beschreiben der äußeren Form beschränkte, sondern in den Bau der Tiere einzudringen suchte. Wir finden bei Aldrovandi schon Abbildungen des Skeletts, der Muskulatur, sowie der Eingeweide. So wird z. B. das Skelett des Adlers abgebildet. Beim Huhn sind mehrere, allerdings nur ungenaue Zeichnungen zur Erläuterung des inneren Baues beigegeben. Das Skelett der Fledermaus und des Straußes finden sich gleichfalls unter den Zeichnungen, welche mitunter auch anatomische Einzelheiten, wie die Zunge mit ihrer Muskulatur beim Spechte, das Brustbein des Schwans und anderes mehr, betreffen. Die Muskulatur wird bei mehreren Vögeln genauer beschrieben.

Groß waren die Opfer, welche die Naturhistoriker jener Zeit mitunter bringen mußten, um ihre Pläne zu verwirklichen. So beschäftigte Aldrovandi, wie er in der Vorrede mitteilt, zur Herstellung seiner Originalfiguren 30 Jahre einen Maler gegen ein Gehalt von 200 Goldstücken. Außerdem setzte er noch mehrere Zeichner und Holzschneider in Tätigkeit. Das Verdienst von Männern wie Geßner und Aldrovandi ist darum besonders hoch zu schätzen, weil sie zuerst Klarheit und Übersicht in dem immer mehr anschwellenden zoologischen Material zu schaffen suchten und in weiteren Kreisen ein lebhaftes Interesse für die Tierkunde und damit für die Naturkunde im allgemeinen erweckten.

Unter den Botanikern des 16. Jahrhunderts ist auch der Niederländer Dodonaeus zu nennen, wie denn überhaupt die Niederländer frühzeitig unter den Neubegründern der Naturwissenschaften und der Philosophie hervorragten, eine Erscheinung, die sicherlich in der geographischen Lage des Wohnsitzes und der staatlichen und religiösen Entwicklung dieses Volkes begründet ist.

Dodonaeus wurde 1517 in Mecheln geboren. Sein Hauptwerk[1]) „Die Naturgeschichte der Gewächse" erschien im Jahre 1583.

1) Dodonaei stirpium historiae pemptades sex sive libri XXX. Antwerpiae, ex officina Christophori Plantini, 1583, in fol.

Was Dodonaeus unter den zeitgenössischen Botanikern besonders hervorhob, war das bewußte Streben, eine wissenschaftliche Anordnung der Pflanzen zu finden. Zwar blieb es bei einem rohen Versuch, doch hat er viele Gattungen und Familien und manche wenig ins Auge fallenden verwandtschaftlichen Beziehungen der Pflanzen schon erkannt. Die Pflanzen, die er beschreibt, gehören teils der heimatlichen Flora an, teils sind sie den Gärten entnommen, welche von den Niederländern schon damals sehr gepflegt und infolge der ausgedehnten Handelsbeziehungen dieses Volkes mit mancher seltenen Art versehen wurden[1]. Selbst Dodonaeus vergleicht noch die ihm vorliegenden Pflanzen mit den von den alten Schriftstellern erwähnten. Doch hindert ihn das nicht, seine eigenen Beschreibungen auf genaue und eingehende Beobachtungen zu stützen, so daß seine Beschreibungen ausführlicher als diejenigen irgend eines seiner Vorgänger ausgefallen sind. Lebhaft gefördert wurde die Botanik durch die Anlage von botanischen Gärten und von Herbarien. Botanische Gärten entstanden besonders an den Universitäten (Prag, Padua, Pisa, Bologna). Als der Erfinder der Herbarien gilt Luca Ghini, der von 1534—1544 in Bologna lehrte[2].

Das Wiederaufblühen der Anatomie läßt sich bis in das 13. Jahrhundert zurückverfolgen. Ein besonderes Interesse wandte der freigeistige Staufenkaiser Friedrich II.[3] diesen Wissenszweigen zu. Er verfaßte eine Schrift über die Falken[4], ließ ausändische Tiere nach Europa kommen und gestattete die anatomische Untersuchung menschlicher Leichen. In den nachfolgenden Jahrhunderten wurden diese Zergliederungen zu medizinischen und rein wissenschaftlichen Zwecken immer häufiger ausgeübt. Wurde schon dadurch der Sinn für die Natur erschlossen und das Studium von der bloßen Buchgelehrsamkeit abgelenkt, so steigerte sich das Interesse für die Anatomie dadurch um ein Bedeutendes, daß nicht nur die Gelehrten, sondern auch die großen Künstler der Renais-

[1] Von der Einführung amerikanischer Pflanzen handelt S. Killermann in der naturwiss. Wochenschrift 1909. S. 193. Danach ist der Mais in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts nach Europa gekommen. Die Agave americana wurde nach Caesalpin 1561 eingeführt. Weitere Angaben finden sich über Nicotiana tabacum, Solanum tuberosum, Capsicum annuum usw.

[2] H. Schelenz, Über Kräutersammlungen und das älteste deutsche Herbarium. Verhandlungen der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte. 1906. II. 2.

[3] Nach Dantes Inferno ruht Friedrich II. in einem feurigen Grabe.

[4] S. S. 239.

sancezeit mit offenem Auge und frei von Vorurteilen in den Wunderbau des Organismus einzudringen suchten. Hier ist vor allem, als einer der größten unter ihnen, Michel Angelo zu nennen. Seine anatomischen Zeichnungen sind von einer derartigen Vollendung und Treue, daß sie alles bisher auf diesem Gebiete Geleistete weit übertrafen. Die Zeit für eine Neubegründung der Anatomie, ohne Rücksicht auf die Autorität Galens und aufgebaut auf selbständige Erforschung der Natur, war also gekommen. Die Neubegründung erfolgte durch die Italiener Fallopio († 1562) und Eustachio († 1574)[1], vor allem aber durch den Niederländer Vesal. Letzterer ist als der eigentliche Begründer der wissenschaftlichen Anatomie des Menschen zu nennen.

Andreas Vesal (1514—1564) war der Sprößling einer aus Wesel stammenden deutschen Ärztefamilie. Er wurde in Brüssel geboren. Schon als Knabe wandte der spätere Professor der Anatomie und Chirurgie und Leibarzt Kaiser Karls V. sein Interesse der anatomischen Untersuchung kleinerer Tiere zu. In den letzten Jahrhunderten des Mittelalters hatten zwar hin und wieder Zergliederungen menschlicher Leichen stattgefunden; man verfolgte dabei indes keinen anderen Zweck als den, die Lehren Galens, welcher eine unbedingte Autorität genoß, als richtig zu bestätigen. Wie schwierig es selbst später noch war, sich Material zum Studium der Anatomie zu verschaffen, geht unter anderem daraus hervor, daß der junge Vesal, um in den Besitz eines menschlichen Skeletts zu gelangen, einen Gehenkten mit Gefahr seines Lebens vom Galgen entwenden mußte.

Ähnlich lagen die Verhältnisse in Deutschland. So galt es als eine Aufsehen erregende Neuerung, daß im Jahre 1526 ein Anatom einen menschlichen Kopf zergliederte[2]. Es blieb aber zunächst bei solchen gelegentlichen Versuchen, die Anatomie auf die Untersuchung von Leichen zu gründen. Und erst Vesal brach gänzlich mit den alten Vorurteilen, indem er das Lehrgebäude der Anatomie von Grund aus und sogleich in fast unübertrefflicher Weise als reine Erfahrungswissenschaft errichtete.

---

[1] Eustachio lieferte unter anderem eine genaue Untersuchung des Gehörorgans und entdeckte dabei den Steigbügel (um 1546). Hammer und Amboß waren schon früher aufgefunden (um 1480). Häser, Geschichte der Medizin. Bd. II. 61.

[2] L. v. Ranke, Deutsche Geschichte im Zeitalter der Reformation. V. 345.

Sein großes Hauptwerk führt den Titel „Über den Bau des menschlichen Körpers“. Als es erschien, hatte Vesal noch nicht das dreißigste Lebensjahr überschritten. Durch scharfe Erfassung und klare Wiedergabe des Gegenstandes, durch Ursprünglichkeit des Inhalts und Schönheit der sprachlichen Darstellung ragt sein Werk weit über alle ähnlichen Erzeugnisse jener Periode hervor und erregte die höchste Bewunderung der Zeitgenossen, sowie der späteren Jahrhunderte. Die meisterhaften Abbildungen des Werkes, welche besonders zu seiner großen Verbreitung beitrugen, rühren von einem Schüler[1]) Tizians her. Um dem Leser einen Begriff von ihrer naturgetreuen Ausführung zu geben, ist in der nachfolgenden Abbildung 50 eine der zahlreichen, das Muskelsystem betreffenden Tafeln wiedergegeben.

Das Abhängigkeitsverhältnis, in welches Vesal zum Hofe Karls V. geriet, hat ihn leider gehindert seine Untersuchungen zu vollenden. Auch hatte er am Hofe von den Anhängern Galens viel zu leiden[2]).

Vesal beschränkte sich keineswegs auf den Menschen, sondern er flocht zahlreiche Hinweise auf die Anatomie der Tiere in seine Darstellung ein. Es war das um so weniger zu verwundern, als er ja von der anatomischen Untersuchung der Tiere ausgegangen und sich erst später der Anatomie des Menschen zugewandt hatte. Vesals Hauptwerk erschien 1543[3]). Die sieben Bücher behandeln: 1. Das Skelett. 2. Bänder und Muskeln, 3. Gefäße. 4. Nerven. 5. Eingeweide. 6. Herz. 7. Gehirn und Sinnesorgane.

Große Verdienste um die Fortbildung der Anatomie auf der von Vesal geschaffenen Grundlage hat sich auch Eustachio erworben. Doch ist bezeichnend, daß dieser, obgleich auch ihm die Abweichungen seiner Befunde von den Angaben Galens klar zutage lagen, lieber eine Veränderlichkeit des Körperbaues annehmen als der gefeierten Autorität des Altertums Abbruch tun wollte.

Vor dem Auftreten eines Vesal und Eustachio waren bei dem großen Mangel auf Autopsie beruhender anatomischer Kenntnisse erfolgreiche chirurgische Eingriffe kaum möglich. Erst nach der durch diese Männer bewirkten Erneuerung der Anatomie

[1]) Namens Johann Stephan von Calcar. Jedoch ist dessen Autorschaft nicht sichergestellt. Siehe Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaft 1903. S. 282.

[2]) Sprengel, Geschichte der Arzneikunde. Bd. III, § 46—78.

[3]) De humani corporis fabrica libri VII. Basel 1543.



Abb. 50. Abbildung aus Vesals De humani corporis fabrica. 1543.
(Zweite das Muskelsystem betreffende Tafel).

konnte sich aus den bis dahin üblichen, rohen, ja oft barbarischen Operationsverfahren eine auf wissenschaftlicher Grundlage beruhende Chirurgie entwickeln. Daß dies geschah, war vor allem das Verdienst von Ambroise Paré (1517—1590), der sich den Ehrennamen eines Reformators dieses Zweiges der Medizin verdient hat.

Die Erkenntnis, daß sich ein volles Verständnis der Form erst durch das Studium ihrer Entwicklung erschließen läßt, begegnet uns gleichfalls schon im 16. Jahrhundert, wenn sich auch diese Erkenntnis erst in späteren Perioden, gestützt auf die Verschärfung, welche der Gesichtssinn durch das Mikroskop erfuhr, allseitig Bahn brechen konnte. So wird die Entwicklung des Hühnchens im Ei, ein Problem, das schon Aristoteles beschäftigt hatte, zum Gegenstand eingehender Untersuchungen gemacht. Dies geschah durch den verdienten italienischen Anatomen Fabricio[1]), welcher auch bemerkte, daß sich die Klappen der Venen nach dem Herzen öffnen. Diese Entdeckung hat nebst anderen, die Organe des Kreislaufs betreffenden Beobachtungen[2]) den größten physiologischen Fortschritt des 17. Jahrhunderts, die Entdeckung des Blutkreislaufs durch Harvey nämlich, vorbereitet.

Wir beenden hiermit den ersten Teil unserer Schilderung, die uns von den Anfängen bis gegen den Ausgang des 16. Jahrhunderts führte. Der zweite Band wird die Begründung der neueren Naturwissenschaft, die etwa mit der Schwelle des 17. Jahrhunderts anhebt, zur Darstellung bringen.

[1]) Fabricio ab Aquapendente (1537—1619), De formatione ovi.

[2]) z. B. daß die Herzscheidewand, durch welche Galen das Blut aus dem rechten in den linken Ventrikel hindurchtreten ließ, undurchdringlich ist.



Namenverzeichnis.

Verzeichnis der Abbildungen.

Berichtigungen.

Seite 77: Anaxagoras statt Anagoras.

Seite 119, 3. Zeile von unten: vorchristlichen statt nachchristlichen.

Seite 225—230: Al-Mamun statt Al Mamum.

Auszüge aus den Besprechungen der ersten und zweiten Auflage von Dannemanns

„Grundriss einer Geschichte der Naturwissenschaften".

Über den ersten Band konnte Beibl. 20, p. 816 auf das günstigste berichtet werden. Der zweite Band gibt eine knappe Darstellung der Geschichte der Natnrwissenschaften, vor allem der Physik, Chemie und Astronomie; sie gibt eine sehr lesbare, gute Übersicht über das Gebiet.

(Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie 1899. Heft 2.)

In klarer, allgemein verständlicher Sprache wird die Geschichte der gesamten Naturwissenschaften von Aristoteles bis auf unsere Tage dem Leser vorgeführt. Die übersichtliche Form, die leicht faßliche, anregende Darstellung machen das Werk besonders für die höheren Klassen unserer Schulen geeignet; doch wird jeder, der sich für Naturwissenschaften interessiert, aus dem Buche viel Anregung und Belehrung schöpfen. Erhöht wird der Wert des Buches durch die getreue Wiedergabe zahlreicher Abbildungen aus den Originalwerken.

(Naturwiss. Rundschau. XIV. Jahrg. Nr. 31 [1899].)

Noch höheren Weıt muß man dem zweiten Bande des Werkes beimessen, in dem der Verfasser die fast unlösbar scheinende Aufgabe, das gesamte Gebiet der Naturwissenschafteu in einer abgerundeten, alle bedeutsamen Einzelheiten zur Erwähnung bringenden und doch nicht in öde Aufzählung dieser Einzelheiten auslaufenden Darstellung zu umfassen, in meisterhafter Weise gelöst hat. Das war freilich nur für einen Mann möglich, bei dem sich mit einer außerordentlichen Kenntnis der Einzelheiten des Stoffes eine in jeder Zeile zutage tretende, auf die allgemeinen nnd großen Gesichtspunkte gerichtete Geistesanlage verbindet. . . Ich kann nur damit schließen, daß ich dem Werke, dessen Brauchbarkeit durch ein sehr vollständiges Namen- wie Sach-Register am Schlusse des zweiten Bandes erhöht wird, die weiteste Verbreitung in den Kreisen der Lehrer, der gereiften Schüler und aller Gebildeten wünsche.

(Unterrichtsblätter f. Mathematik u. Naturwissenschaften 1899. Nr. 1.)

Die bei derartigen Arbeiten nicht immer vermiedene Klippe einer mehr äußerlichen Aneinderreihung hat der Verfasser glücklich zu umschiffen gewußt; überall ist auf das sachlich Wesentliche der Fortschritte hingewiesen worden. Und die mannigfaltigen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Gebieten werden überall zur Geltung gebracht.

(*Wilhelm Ostwald* in der Zeitschrift f. physikal. Chemie XXVIII. 1899.)

Wir richten gern die Aufmerksamkeit unserer Leser auf das wohlgelungene Werk und hegen dabei den innigen Wunsch, daß es durch uns manchen Freund finde. Im allgemeinen sind die Kenntnisse aus der Geschichte der Naturwissenschaft im Publiknm recht gering. Hier ist die Gelegenheit geboten, sich besser zu unterrichten; man ergreife sie und lerne!

(Die Natur 1899. Nr. 25.)

So bildet das obige Werk eine hervorragende Erscheinung auf dem Gebiete der naturwissenschaftlichen Literatur; und es ist gleich sehr zu wünschen als zu hoffen, daß es nicht unbeachtet vorübergehen möge.

(Kölnische Zeitung v. 21. Mai 1899.)

The work is an interesting contribution to the literature dealing with the development of the study of nature in many aspects, and as such is an inspiring volume for students of science.

(Nature 1899. Nr. 1533. Vol. 59.)

Ist der erste Band eine Art Propädeutik, so stellt der zweite, kürzlich erschienene Band die Geschichte der Naturwissenschaften zum ersten Male im Zusammenhang dar. Das Buch ist fesselnd und klar geschrieben, geht stets auf die Quellen zurück und erweist sich als eine höchst gewissenhafte, von großen Gesichtspunkten verfaßte Arbeit. — Eine Fülle schwer zu beschaffender Illustrationen nach den Originalen erhöht den historischen Reiz. Wir danken dem Verfasser herzlichst für dieses wertvolle Werk, das jedem unseres Faches eine genußreiche Lektüre bieten wird.

(Die Umschau 1899. Nr. 40. 30. Sept.)

The publishers could not have been more fortunate in supplementing their reprints of the exact sciences, commonly known as Ostwald's „Klassiker", than by a work of this kind. We have no doubt that this second volume will be received with even greater favor than the first. We hope that every American science teacher who has a reading knowledge of German will study this book. He cannot afford to be without it.

(Pharmaceutical Review. Vol. 17. Nr. 4. April 1899.)

Dr. Dannemann speaks in a quiet way in his preface of the book being useful to pupils in the upper forms of high schools, but shall we not be frank and admit that there is none of us — Herren Professoren, Doctoren, Privat-Docenten, and Gelehrten in general — who would not be the better of reading a book like this, and renewing our youth thereby.

(Natural Science. Vol. XIV. Nr. 88.)

Dr. Fr. Dannemann,

Aus der Werkstatt großer Forscher.

Allgemeinverständliche erläuterte Abschnitte aus den Werken hervorragender Naturforscher aller Völker und Zeiten.

3. Aufl., geb. **6,80 Mk.**

Es ist dem Berichterstatter eine besondere Freude, die zweite Auflage des vorliegenden Werkes anzeigen zu können, nachdem er gelegentlich der ersten Auflage auf die Wichtigkeit und Ersprießlichkeit der geschichtlichen Belebung des naturwissenschaftlichen Unterrichts hingewiesen hatte. Ist doch die verhältnismäßig schnell eingetretene Notwendigkeit der neuen Ausgabe ein Zeugnis dafür, daß jene Gesichtspunkte von einer großen Anzahl der beteiligten und maßgebenden Männer geteilt werden, uud daß daher unserer Jugend jener unerschöpfliche Quell der Anregung und wahren Bildung reichlich zugänglich gemacht worden ist. Eines empfehlenden Wortes bedarf es daher nicht von neuem; nur sei jeder, der sich bisher noch nicht mit diesem vortrefflichen Werke bekannt gemacht hat, darauf hingewiesen, die sehr wertvolle Bekanntschaft nicht länger hinauszuschieben.

(Prof. Dr. W. Ostwald in der Zeitschrift für physikalische Chemie.)

Der Leser gewinnt hierdurch ein klares und anschauliches Bild nicht allein von der Bedeutung der Leistung des betreffenden Forschers, sondern auch von der Eigenart seiner Geistesarbeit und seiner Darstellungsweise und kann so die Entwicklung der Gesamtwissenschaft, wenn auch nur skizzenhaft, in objektiver Form verfolgen. (Naturwissensch. Rundschau 1897. Nr. 26.)

Daß die Bekanntchaft mit den Quellen auch die reiferen Schüler nach jeder Richtung hin fördert und anregt, ist ... anerkannt; demgemäß hat man eine Reihe von Hilfsmitteln solcher Art bereits in den Dienst der höheren Schule gestellt. Dem Verf. vorliegenden Werkes ist es hoch anzurechnen, daß er eine solche, bis dahin

fehlende Quellensammlung aus dem Gesamtgebiet der Naturwissenschaften veranstaltet und damit auch dem naturwissenschaftlichen Lehrer ein treffliches Anregungsmittel geboten hat. Wir können den Schulmännern die Benützung des Werkes zu eigenem Gebrauch und für die Hand der Schüler um so dringender empfehlen, als die Auszüge und die Bearbeitungen kürzerer oder längerer Abschnitte der wichtigsten Schriften von Aristoteles an bis zu Liebig, Pasteur und Humboldt dem vorgesetzten Zweck durchaus entsprechend sind und deren Auswahl der Fachkenntnis des Herausgebers das beste Zeugnis ausstellt. (Literarisches Zentralblatt 1896. Nr. 41.)

Let us hope the English language will soon possess a like work.)
(Pharmaceutical Review 1896, Nr. 12.)

The choice of material is excellent and too much has been offered in no case, the collection is as admirable for what it omits as for what it includes. The chronological arrangement adopted is eminently sensible, and where translation has been necessary it has been clearly and smoothly done. Information of the kind presented should be a part of every one's education in this age of the world, and he who gains it gains an absorbing interest in seeing how the present generation has come by its heritage of the might, majesty, dominon and power of scientific knowledge. The work is admirably adapted to the purpose it is designed to fulfil.
(Journal of Physical Chemistry Nr. 3. 1896.)

The powerful stimulus which such a book offers cannot be overrated. It is intended primarily for students in high schools, polytechnical schools, colleges, etc., but is so delightful and unique in character, and supplies so gaping a want in the literature of instruction and of autodidactic reading that there is no lover of scientific culture, nor even of genuine classical culture, but could wish its pages might be ardently dwelt upon.
(The Monist. Nr. 1. Oktober 1896.)

Inhalt.

21. Das Licht wird von Huygens für eine Wellenbewegung des Äthers erklärt. 1678.
22. Die Entdeckung des Mariotteschen Gesetzes.
23. Das Auftauchen der ersten klaren Vorstellungen über die Verbrennung und die Atmung.
24. Swammerdam zergliedert die Insekten.
25. Die Begründung der Pflanzenphysiologie.
26. Celsius führt die hundertteilige Thermometerskala ein.
27. Dio Lehre von der Sexualität der Pflanzen.
28. Das künstliche Pflanzensystem Linnés.
29. Die Polypen werden als tierische Organismen erkannt.
30. Kant erklärt den Ursprung des Weltgebäudes. 1755.
31. Laplace entwickelt ähnliche Ansichten über den Ursprung des Weltgebäudes wie Kant. Kant-Laplacesche Hypothese. 1796.
32. Herschel begründet die Astronomie dor Fixsterne.
33. Die Meteore werden als kosmische Massen erkannt 1794.
34. Dio Wellentheorie findet einen hervorragenden Verfechter. 1760.
35. Die photometrischen Grundbegriffe.
36. Die Erfindung des Blitzableiters. 1753.
37. Dio Entdeckung der elektrischen Influenz und der Pyroelektrizität. 1758.
38. Scheele entdeckt den Sauerstoff und analysiert die atmosphärische Luft. 1773
39. Lavoisier erklärt die Verbrennungserscheinungen. 1774.
40. Die Erfindung des Eiskalorimeters und die Bestimmung von spezifischen Wärmen und Verbrennungswärmen mittelst dosselben. 1780.
41. a) Die Entdeckung der galvanischen Elektrizität.
    b) Volta, Über die Elektrizität, welche durch die bloße Berührung verschiedenartiger leitender Stoffe hervorgerufen wird.
42. Die Botanik unter dem Einflusse der Metamorphosenlehre.
43. Die Begründung der Blütenbiologie.
44. Saussure begründet die Ernährungsphysiologie der Pflanzen. 1800.
45. Das Menschengeschlecht wird in fünf Rassen eingeteilt.
46. Cuvier begründet durch Verschmelzung der Zoologie mit der vergleichenden Anatomie ein natürliches System. 1812.
47. Die Aufstellung der atomtistischen Hypothese. 1808.
48. Gay-Lussac entdeckt das Volumgesetz. 1808.
49. Das von Courtois (1811) entdeckte Jod wird von Gay-Lussac eingehend untersucht.
50. Die Entdeckung von Natrium und Kalium. 1807.
51. Die Entdeckung des Aluminiums. 1827.
52. Cuviers Katastrophentheorie. 1812.
53. Lyell begründet die neuere Richtung der Geologie. 1830.
54. Die Entdeckung des Elektromagnetismus. 1820.
55. Die Entdeckung der galvanischen und der magnetischen Induktion. 1832
56. Es werden die experimentellen Grundlagen für eine elektromagnetische Theorie des Lichtes gewonnen.
57. Die Entdeckung des Diamagnetismus.
58. Die Erfindung der Photographie.
59. Die Physiologie erhält durch Johannes Müller eine wissenschaftliche Grundlage.

60. Die Zelle wird als das Elementarorgan des tierischen und pflanzlichen Organismus erkannt. 1839.
61. Die Physiologie wendet sich gegen die Annahme einer besonderen Lebenskraft.
62. Liebig beantwortet die Frage nach der Ernährung der Pflanzen. 1840.
63. Die Kryptogamenkunde wird durch wichtige Beobachtungen über die Fortpflanzung der Algen bereichert.
64. Darwin erklärt die Entstehung der Koralleninseln.
65. Carnot entwickelt eine Theorie der Dampfmaschine. 1824.
66. Die erste Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns. 1838.
67. Das Dopplersche Prinzip. 1842.
68. Das Prinzip von der Erhaltung der Kraft.
69. Die Entdeckung des Ozons. 1840.
70. Der rote Phosphor wird als eine Modifikation des Elementes Phosphor erkannt. 1850.
71. Alexander von Humboldt vereinigt die Summe des Naturwissens seiner Zeit zu einem Gesamtbilde. 1845.
72. Kirchhoff und Bunsen schaffen die Spektralanalyse.
73. Pasteur weist nach, daß auch die niedrigsten Organismen aus Keimen und nicht durch Urzeugung entstehen. 1860.
74. Das Protoplasma wird als die Grundlage des organischen Lebens erkannt.
75. Hertz erforscht die Beziehungen zwischen dem Licht und der Elektrizität.

Von demselben Verfasser erschienen ferner:

Otto von Guericke's neue „Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum (Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 59). Mit 15 Textfiguren. Leipzig, 1894. Verlag von Wilhelm Engelmann. Geb. M. 2.—.

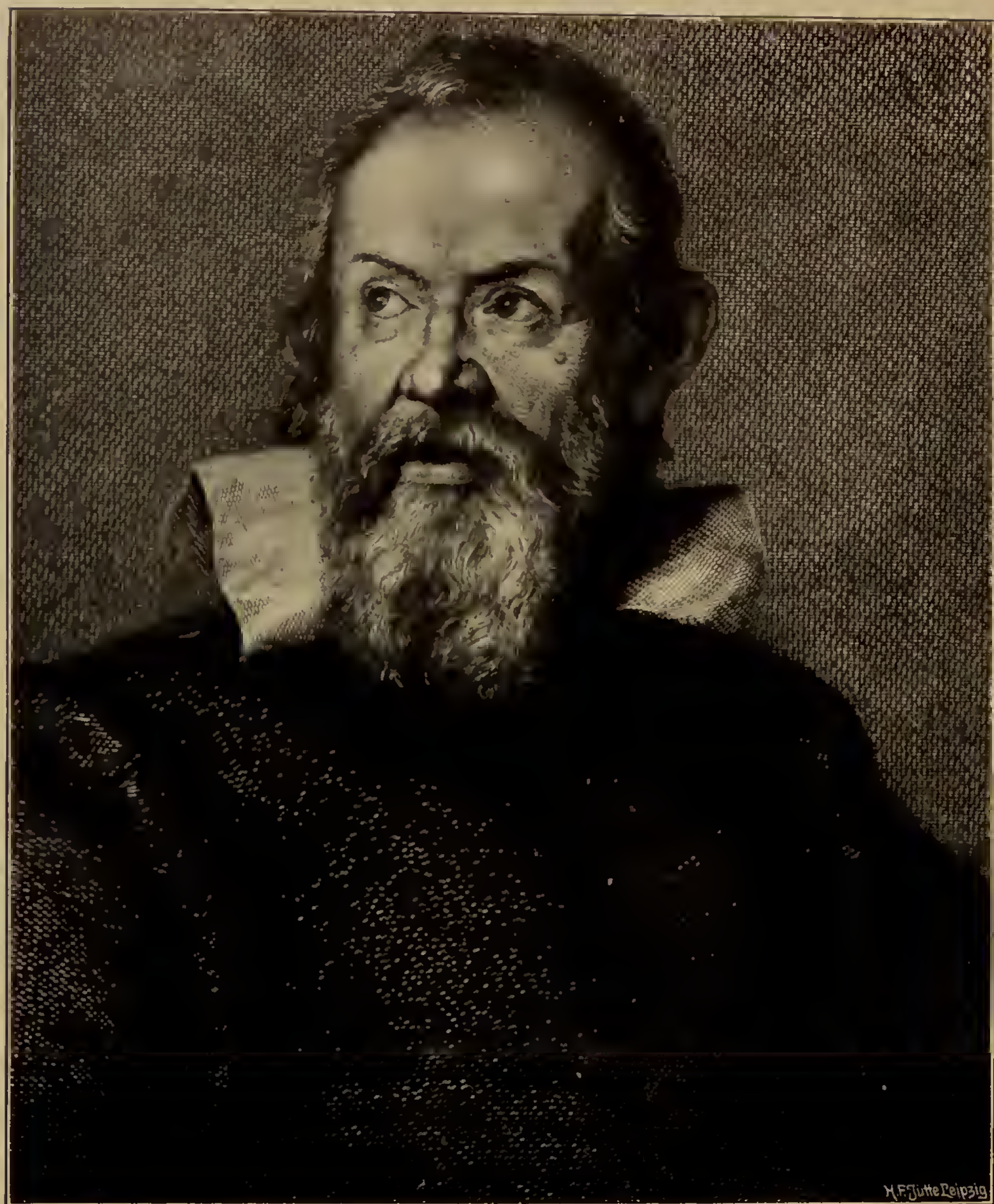
Leitfaden für den Unterricht im chemischen Laboratorium. Vierte Auflage. 1909. Hahnsche Buchhandlung. (Als Vorwort diene des Verfassers Aufsatz „Über die Bedeutung, Einrichtung und Leitung praktischer Übungen im Laboratorium" Fries und Meyer, Lehrproben und Lehrgänge. Heft XXXV.)

Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage. brosch. M. 6.—. Dasselbe gebunden M. 6.80. Hahnsche Buchhandlung in Hannover und Leipzig. 1907.

Naturlehre für höhere Lehranstalten, auf Schülerübungen gegründet. Hahnsche Buchhandlung in Hannover und Leipzig. 1908.

Die „Naturlehre" ist nach den Gesichtspunkten verfaßt, die in dem Buche **„Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage"** entwickelt wurden. Sie ist der erste Versuch, den Unterrichtsstoff **mit grundlegenden Schülerübungen in engste Verbindung zu setzen.** Der erste Teil enthält den Lehrstoff für Chemie und Mineralogie; zwei kurze Abschnitte bringen das Wichtigste aus der Geologie und eine Anleitung zu pflanzenphysiologischen Versuchen. Der zweite Teil bringt die Physik.

Quellenbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften in Deutschland. (Deutsche Schulausgaben Nr. 39.) 158 Seiten. Geb. M. 1.20. Verlag von L. Ehlermann in Dresden.



GALILEI

(Nach einem Stich von G. Cipriani.)

DIE NATURWISSENSCHAFTEN
IN IHRER ENTWICKLUNG UND IN IHREM ZUSAMMENHANGE

DARGESTELLT VON

FRIEDRICH DANNEMANN

ZWEITER BAND:

VON GALILEI BIS ZUR MITTE DES 18. JAHRHUNDERTS

MIT 116 ABBILDUNGEN IM TEXT UND
MIT EINEM BILDNIS VON GALILEI

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1911

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung vorbehalten.

Druck der Königl. Universitätsdruckerei von H. Stürtz A. G., Würzburg.

Vorwort.

Der zweite Band befaßt sich in der Hauptsache mit den im 17. Jahrhundert entstandenen Grundlagen der neueren Naturwissenschaft. Es sind die Schöpfungen eines Galilei, Newton, Huygens und zahlreicher anderer Forscher ersten Ranges, die wir in diesem Zeitraum der Entwicklung der Wissenschaften entstehen sehen. Die grundlegenden Arbeiten jener Männer sind durch „Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften“ heute weiteren Kreisen in erläuterten Ausgaben und, wo es erforderlich war, in deutscher Übersetzung zugänglich gemacht. Der zweite Band nimmt, wie es auch die folgenden tun werden, auf diese Ausgaben oft Bezug, so daß die Absicht des Verfassers, in seinem Werke gewissermaßen einen Rahmen für „Ostwalds Klassiker“ zu schaffen, mehr als im ersten Bande zum Ausdruck kommt.

Bezüglich der übrigen Gesichtspunkte, die bei der Abfassung des Werkes in Betracht kamen, muß auf das Vorwort zum ersten Bande hingewiesen werden. Der Verfasser hofft, daß es ihm gelungen ist, auch in dem zweiten Bande die Geschichte der Wissenschaften im Rahmen der Gesamtentwicklung darzustellen und ein Buch zu schaffen, mit dem nicht nur dem Historiker, sondern auch dem Arzte, dem Techniker, dem Lehrenden und Studierenden, kurz jedem, der sich für die Naturwissenschaften lebhafter interessiert, gedient ist. War es doch sein Bestreben, die Entwicklung der Naturwissenschaften in ihren noch heute wertvollen Grundlagen, sowie in ihren Beziehungen zu den übrigen Wissenschaften, insbesondere zur Philosophie, zur Mathematik und Technik darzustellen.

Friedrich Dannemann.

Inhalt des zweiten Bandes.

1. Altertum und Neuzeit.

Ein Ereignis, das gewöhnlich als ein Wendepunkt in der Geschichte der Wissenschaften betrachtet wird und mit dem auch wir den ersten Abschnitt unserer Darstellung abschlossen, ist die Aufstellung des heliozentrischen Weltsystems durch Koppernikus. Man darf jedoch nicht außer Acht lassen, daß der Umschwung allmählich erfolgte und daß man auf allen Wissensgebieten zunächst an das Vorhandene anknüpfte. Auch ging für die einzelnen Zweige die Befreiung aus den Formen des mittelalterlichen Denkens durchaus nicht gleichzeitig vor sich. Zuerst war es die Astronomie, die einen erhöhten Standpunkt gewann. Ihr folgten die Physik seit dem 17. und die Chemie seit dem 18. Jahrhundert, während die Biologie erst im Laufe des 19. Jahrhunderts auf den Rang einer exakten Wissenschaft erhoben wurde.

Eine große Zahl von Aufgaben, deren Bewältigung man mit dem Beginn der Neuzeit in Angriff nahm, hatte sich schon das Altertum gestellt. Während des Mittelalters verlor man diese Aufgaben fast sämtlich aus den Augen. Die Neuzeit nahm sie nahezu dort, wo das Altertum stehen geblieben, wieder auf. Zum Teil führte sie diese Aufgaben ihrer Lösung entgegen, sie knüpfte aber auch an die gelösten und schwebenden neue Probleme an, die noch unsere Zeit vollauf beschäftigen, so daß die letztere das Gefühl beseelt, daß sich ein Ende in der Kette der Entdeckungen und Erfindungen nirgends absehen läßt.

Ein kurzer Rückblick soll uns zunächst das Erbe vergegenwärtigen, das die neuere Zeit vom Altertum übernahm. Die Elemente der Mathematik waren in der Hauptsache entwickelt und am vollständigsten durch Euklid zusammengefaßt worden. Hieran schlossen sich die Untersuchungen des Archimedes und des Apollonios, die insbesondere die wichtige Lehre von den Kegelschnitten begründeten. Das Almagest genannte Hauptwerk

des Ptolemäos enthielt die Grundzüge der ebenen und der sphärischen Trigonometrie. Das heutige Ziffernsystem und die Anfänge der Algebra verdankte man als Schöpfungen einer späteren Zeit den Indern und den Arabern.

Die Alten hatten ferner gezeigt, in welcher Weise sich die Mathematik auf astronomische und mechanische Probleme anwenden läßt. Das Werk des Ptolemäos und vor allem die Schriften des Archimedes bieten zahlreiche Beispiele dafür. Über den Lauf der Gestirne hatte man eine große Summe von Beobachtungen gesammelt; ferner lagen für eine richtige astronomische Theorie Ansätze vor, die nur der weiteren Entwicklung harrten. Die Methoden und die Instrumente waren im wesentlichen noch dieselben, deren sich die Griechen bedient hatten. Auch gab es im Beginn der neueren Zeit für die Astronomie keine Aufgabe, die sich nicht schon die Alten gestellt hätten. Die Bestimmung des Umfangs der Erdkugel, ihr Verhältnis zu den übrigen Himmelskörpern, eine genaue Topographie des Fixsternhimmels, genaue Zeit- und Ortsbestimmung, die Vorhersage astronomischer Ereignisse: alles das waren Gegenstände, mit denen sich schon das Altertum, insbesondere die alexandrinische Periode, eingehend beschäftigt hatte und von denen die neuere Zeit vorzugsweise durch das Hauptwerk des Ptolemäos Kenntnis erhielt.

Die auf uns gekommenen Berichte über Jahrtausende zurückliegende Finsternisse haben einen doppelten Wert. Einmal sind sie geeignet, einen Prüfstein für die neueren, einen weit kürzeren Zeitraum umfassenden Berechnungen abzugeben. Ferner geben sie ein Mittel an die Hand, um geschichtliche Ereignisse der frühesten Zeitalter chronologisch zu ordnen[1]. Mitunter hat es sich in den alten Berichten offenbar nur um Verfinsterungen gehandelt, welche durch plötzlich auftretende Gewitterwolken veranlaßt wurden. Im ganzen haben aber die Berechnungen von Mond- und Sonnenfinsternissen, die bis zum Jahre 900 v. Chr. zurückreichen, für die Geschichte des Altertums und für die astronomische Wissenschaft gleich wertvolle Ergebnisse geliefert[2].

Auch die Statik und die Optik, Gebiete, die sich für die den Alten am meisten zusagende deduktive Behandlung besonders

---

[1] Kugler, Astronomische und meteorologische Finsternisse. (Zeitschr. d. morgenländ. Gesellschaft 1902. S. 60.)

[2] Besonders K. F. Ginzels Berechnungen der Sonnenfinsternisse für Rom, Athen, Memphis und Babylon für den Zeitraum von 900 v. Chr. bis 600 n. Chr.

eigneten, empfing die Neuzeit in einer bis zu einem gewissen Grade wissenschaftlich durchgebildeten Form, während bezüglich der übrigen Teile der Physik nur die Kenntnis von mehr oder minder wertvollen Einzelbeobachtungen übermittelt wurde, deren richtige Deutung und weiterer Verfolg der neueren Periode vorbehalten blieb. Es gilt dies namentlich von den magnetischen und den elektrischen Erscheinungen, sowie von dem Verhalten der Gase und Dämpfe, mit deren Studium Heron von Alexandrien einen vielversprechenden Anfang gemacht hatte. Auch die Chemie ist in ihren Anfängen auf das Altertum zurückzuführen. Ist es auch nicht mehr möglich, im einzelnen zu entscheiden, welche Kenntnisse das Mittelalter den späteren Alexandrinern verdankte und welche es selbständig erwarb, so muß doch anerkannt werden, daß die Chemie im Mittelalter ganz besonders gepflegt und auch in mancher Hinsicht durch neue Entdeckungen bereichert wurde. Die Chemie in ihrer ersten, unvollkommenen Gestalt war so sehr eine Wissenschaft des Mittelalters, daß sie weit über den Beginn der neueren Zeit hinaus sich nach den in jener Periode gesteckten Zielen bewegte und sich erst spät den Denkformen der neueren Zeit anpaßte. Auf dem Gebiete der beschreibenden Naturwissenschaften knüpfte man gleichfalls dort an, wo das Altertum aufgehört hatte. Nachdem das Studium der alten Schriftsteller die erste Anregung gegeben, wandte man sich aber in steigendem Maße der eigenen, auf keine Autorität zurückgreifenden Beobachtung zu, der sich durch die Erweiterung des gesamten menschlichen Gesichtskreises und infolge der Entwicklung der exakten Wissenschaften ein überreiches, den Alten verschlossen gebliebenes Feld eröffnete.

Die im Altertum geschaffenen Ansätze waren im Mittelalter nicht etwa gänzlich verschollen. Man muß vielmehr annehmen, daß im Orient überhaupt keine völlige Unterbrechung stattfand. Die Wissenschaft der Alten empfing der Orient vorzugsweise aus den Händen der dort ansässig gewordenen Griechen. Man verstand es, dieses Erbe nicht nur zu erhalten, sondern es auch auszubauen und es durch Zuführung neuer Wissenselemente, z. B. aus Indien, zu vermehren. Mit dem 9. und 10. Jahrhundert begannen die Araber auf dem Gebiete der Naturwissenschaften und der Heilkunde selbständig zu werden, während sie sich vorher auf die Aneignung der älteren Literatur beschränkt hatten. Ihre Blütezeit erlebte die arabische Wissenschaft im 11. Jahrhundert. Den christlichen Völkern des Mittelalters flossen die Kenntnisse

der Alten zuerst aus spärlicher und trüber, dann aber aus immer reinerer Quelle. Was ihre Entfaltung zunächst hinderte, war einmal die jähe Unterbrechung, welche die Kulturentwicklung Europas durch die Völkerwanderung und den Sturz des römischen Kaiserreiches erlitten, ferner aber der eigentümliche, auf das Religiös-Dogmatische und Mystische gerichtete, der Natur abholde Geist, welcher das christliche Mittelalter kennzeichnete. Unter seiner Herrschaft konnte nur ganz allmählich eine die Dogmen beiseite schiebende Forschung aufkommen.

Die Welterklärung des Mittelalters drehte sich im wesentlichen um den Streit, ob die Begriffe bloße Namen seien (Nominalisten), oder ob sie als etwas wirklich Vorhandenes, als Wesenheiten, den Dingen und Vorgängen zugrunde lägen (Realisten). Die Realisten, in denen die Philosophie Platons ihre Fortsetzung fand, haben der Naturauffassung des eigentlichen Mittelalters den Stempel aufgeprägt. Die als wirkliche Wesen betrachteten Begriffe („universalia ante res“) spielten damals etwa die Rolle unserer heutigen Naturgesetze. Sie sind es, denen wir noch während der Übergangszeit in dem Archeus des Paracelsus und in der Erd- und Weltseele Keplers begegnen. Als der Realismus[1]) herrschte, waren die Sterne, die Pflanzen, ja selbst die Steine, kurz jeder Körper, der Schauplatz für das Treiben einer Unzahl von Geistern. Dies rührte daher, daß man der substantiellen Form, ein Wort, das etwa die Bedeutung der platonischen Idee besitzt, reale Existenz beilegte, anstatt darin eine Schöpfung des eigenen Verstandes zu erblicken. Das Nächste war dann, daß eine ungezügelte Phantasie diesen wesenhaft gewordenen Begriffen die Attribute der Persönlichkeit beilegte und einen Mystizismus erzeugte, der eine Forschung nach den natürlichen Ursachen unter Anerkennung des Kausalitätsgesetzes gar nicht aufkommen ließ. Die Umwälzung, welche die Überwindung des mittelalterlichen Geistes und die Begründung der neueren Philosophie und Naturforschung bedeutet, bestand darin, daß an Stelle jener substantiellen Formen und ihrer mystischen Auswüchse die bloße Regel, das Naturgesetz, trat. Die Regel mußte aus der Beobachtung vieler Einzelfälle entnommen werden, daher die Forderung, induktiv zu verfahren, eine Forderung, die an der Schwelle des neuen Zeitraumes von vielen Seiten und nicht etwa bloß von Francis Bacon erhoben wurde. Die Regel ließ

1) Das Wort hat also eine von seiner heutigen ganz abweichende Bedeutung.

sich ferner mathematisch formulieren. So entstand eine weit engere Verbindung der Mathematik mit der Naturwissenschaft, durch welche die neuere Zeit sich gleichfalls gegen die früheren Perioden abhebt. In der Philosophie war es Bacon, in der Naturwissenschaft war es vor allem Galilei, welche die substantiellen Formen der Scholastiker beseitigten und an ihre Stelle das immaterielle Naturgesetz stellten.

Die Entwicklung der Wissenschaft war während des Mittelalters fast noch mehr als im Altertum auch dadurch sehr gehindert, daß zwischen der Wissenschaft und der Technik eine zu geringe Berührung stattfand. Der weltfremde Gelehrte des Mittelalters beschränkte sich im wesentlichen darauf, daß er die alten Schriftsteller und ihre Kommentatoren studierte und in maßloser Überschätzung des Wortwissens etymologischen Betrachtungen nachging, ohne auf eigene Beobachtung Wert zu legen. Auf diese Weise erwuchsen aus der vorhandenen Literatur zwar neue Schriften, es fehlte ihnen aber an neuem Inhalt. Der mitten im Leben stehende Techniker dagegen beobachtete und erfand, aber er schrieb nicht. Seine Kenntnisse pflanzten sich vorwiegend durch mündliche Überlieferung fort. So begann, um einen Zweig der Technik herauszugreifen, schon in früher Zeit in Mitteleuropa ein reger Bergbau[1]). Bereits im sechsten Jahrhundert war der Bergbau in Böhmen sehr entwickelt. Er war dort von den Wenden bald nach ihrer Einwanderung ins Leben gerufen worden. Von Böhmen aus breitete er sich über Schlesien aus. Im 11. Jahrhundert begann man in Ungarn, im Harz und im Mansfeldischen Bergwerke einzurichten. Gleichzeitig entstanden Hütten- und Salinenwerke. Dasjenige von Wieliczka z. B. wird seit dem 13. Jahrhundert betrieben. Welchen Nutzen hätte die Naturwissenschaft aus diesen Unternehmungen ziehen können! Und welch befruchtenden Einfluß hätte sie wiederum auf die Technik auszuüben vermocht! Diese Wechselwirkung blieb so lange aus, bis der Buchdruck aufkam. Von diesem Zeitpunkt an sehen wir auch den Techniker schriftstellerisch wirken. Er stellte seiner ganzen Eigenart gemäß die eigene Beobachtung und Erfindung in den Vordergrund und beschränkte sich hinsichtlich der literarischen Überlieferungen darauf, sie als Hilfsmittel für seine eigene Arbeit und nicht, wie der Gelehrte, als Mittelpunkt zu betrachten.

Von großem Einfluß auf die Umgestaltung der gesamten europäischen Verhältnisse war auch die Verwendung des schon im

[1]) Ch. Keferstein, Geschichte und Literatur der Geognosie, 1840.

13. Jahrhundert bekannt gewordenen Pulvers zu kriegerischen Zwecken. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Anwendung des Pulvers zum Fortschleudern von Geschossen von einem Mönch namens Berthold um 1300 herrührt[1]). Jedenfalls erfolgte die Verbreitung der Feuerwaffen von Deutschland aus, wo schon um die Mitte des 14. Jahrhunderts die ersten Pulverfabriken errichtet werden[2]).

Für die Richtung, welche die Entwicklung der Wissenschaft und der gesamten Kultur in der Neuzeit nahm, ist endlich noch ein allgemeingeschichtliches Moment hervorzuheben. Der Sitz der politischen Macht und der geistigen Bildung wanderte nämlich von den alten Stätten der Kultur, dem Orient und den Mittelmeerländern nach dem Nordwesten und der Mitte Europas, nach England, Frankreich und Deutschland. Dieser Zug der Kultur von Ost nach West ist indessen kein blindes Walten des Schicksals. Er wird vor allem dadurch hervorgerufen, daß sich dem Westen Europas gegenüber ein neuer Weltteil erschließt, während der Osten dem Andrängen aus Asien hervorbrechender, kulturfeindlicher Stämme (Mongolen und Türken) erliegt.

So sehen wir denn besonders in den beiden großen Metropolen nördlich und südlich vom Kanal neue Brennpunkte des wissenschaftlichen Lebens entstehen. Und fortan gelten die Gestade der Nordsee dem Geschichtsschreiber[3]) „als die vornehmste Werkstätte des allgemeinen Geistes des menschlichen Geschlechtes, seiner staatenbildenden, ideenhervorbringenden, die Natur beherrschenden Tätigkeit“.

---

[1]) v. Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Leipzig 1906. S. 142.

[2]) So in Augsburg um 1340.

[3]) L. v. Ranke, Englische Geschichte, I, 4

2. Die Erfindung der optischen Instrumente.

Der neue, in den Arbeiten eines Galilei, Gilbert und Kepler seinen Höhepunkt erreichende Abschnitt in der Entwicklung der Naturwissenschaften ist dadurch besonders gekennzeichnet, daß man die wichtigsten Hilfsmittel zur Verschärfung der Sinne erfand und infolgedessen einen weit tieferen Einblick wie bisher in die Erscheinungen zu tun vermochte. Was die früheren Zeitalter an solchen Hilfsmitteln besaßen, erhob sich wenig über den Rang einfacher, durch handwerksmäßiges Schaffen hergestellter Werkzeuge. Jetzt treten uns auf wissenschaftlichen Grundsätzen beruhende, der planmäßigen Forschung dienende Instrumente in größerer Zahl entgegen. Gleich an der Schwelle dieser Periode sind es die beiden wichtigsten, das zusammengesetzte Mikroskop und das Fernrohr. Ersteres wurde um 1590, letzteres um 1608 erfunden.

Die Glaslinse und ihre vergrößernde Kraft waren zwar seit alters bekannt. Auch waren die Erscheinungen, welche die verschiedenen Arten der Spiegel darboten, da sie sich einer Erklärung durch geometrische Konstruktion zugänglich erwiesen, stets ein Lieblingsgegenstand der Mathematiker gewesen. Die Zusammenfügung mehrerer Linsen, in welcher das Eigentümliche des zusammengesetzten Mikroskops und des Fernrohrs besteht, scheint dagegen anfangs ohne einen leitenden Gedanken als ein bloßes Spiel des Zufalls stattgefunden zu haben. Obgleich die Geschichte jener Instrumente sehr verwickelt ist und mehrere Kulturvölker Europas Prioritätsansprüche erhoben haben, ist doch soviel festgestellt, daß der Ruhm beider Erfindungen den Niederländern gebührt, bei denen die Glas- und Steinschleiferei zu jener Zeit in Blüte stand und die Herstellung von Linsen zwecks Verfertigung von Brillen gewerbsmäßig betrieben wurde.

Es würde zu weit führen, wenn wir uns hier mit der Abwägung aller Prioritätsansprüche befassen wollten[1]. Nicht nur

[1] Siehe darüber: Servus, Die Geschichte des Fernrohrs bis auf die neueste Zeit. Berlin 1886. Petri, Das Mikroskop von seinen Anfängen bis zu seiner jetzigen Vervollkommnung. Berlin 1896.

Roger Bacon und Porta wurden auf Grund dunkler Stellen ihrer Werke für die Erfinder des Fernrohrs gehalten, sondern im Hinblick auf Matthäus 4, 8 wurde das neue Werkzeug sogar für eine Erfindung des Teufels ausgegeben [1]. Letzteres sei nicht etwa der bloßen Kuriosität wegen angeführt, sondern um die mißbräuchliche Anwendung zu zeigen, welche, wie wir noch des öfteren sehen werden, von der Bibel gemacht wurde. In den meisten Fällen geschah dies, um in dunkelmännischer Weise, wie einst dem Emporblühen des Humanismus, der zu immer größerer Bedeutung heranwachsenden Naturwissenschaft Hemmnisse zu bereiten. Dies Bestreben hat zwar einzelnen Vertretern dieser Wissenschaft Verfolgungen eingetragen, für den gesamten Gang der Entwicklung, der vom Dunkel zum Lichte führte, sollte es indes belanglos bleiben.

Bei Bacon kann es sich nur um prophetische Aussprüche handeln, Porta deutet indessen schon darauf hin, daß sich durch eine Vereinigung von Glaslinsen besondere optische Wirkungen erzielen lassen. Doch scheint es sich bei seinem Vorschlage um eine Art Brille zu handeln [2]. Irrtümliche Nachrichten, welche die Bekanntschaft mit dem Fernrohr vor dem 17. Jahrhundert bezeugen sollen, sind auch dadurch entstanden, daß man sich schon im Mittelalter, ja selbst im Altertum, beim Beobachten der Gestirne leerer Röhren bediente, um seitliches Licht fernzuhalten.

Das erste zusammengesetzte Mikroskop bestand wohl aus der Vereinigung einer Bikonvex- mit einer Bikonkavlinse. Erstere diente als Objektiv, letztere als Okular. Dieses Instrument wurde sehr wahrscheinlich [3] von dem holländischen Glasschleifer Zacharias Jansen um das Jahr 1590 erfunden. Eins der ältesten Exemplare beschrieb Borelius. Es war $1^1/_2$ Fuß lang. Das Rohr war vergoldet und hatte zwei Zoll Durchmesser. Es stand auf drei ehernen Delphinen, und das Fußgestell war von Ebenholz. Auf das Fußgestell gelegte kleine Gegenstände erschienen beim Hineinblicken in das Instrument stark vergrößert [4].

1) Die betreffende Bibelstelle lautet: Wiederum führte ihn der Teufel auf einen sehr hohen Berg und zeigte ihm alle Reiche der Welt und ihre Herrlichkeit.

2) Heller, Gesch. d. Phys. I. 384.

3) Nach dem Zeugnis des belgischen Gesandten Borelius. Das betreffende, lateinisch verfaßte Schriftstück findet sich in Wildes Geschichte der Optik. I. 147. wiedergegeben.

4) Wilde, Geschichte der Optik. Bd. I. 150.

In Middelburg wird noch heute ein Mikroskop gezeigt, das Jansen verfertigt haben soll.

Die heutigen zusammengesetzten Mikroskope sind bekanntlich anders eingerichtet. Sie bestehen aus zwei Sammellinsen oder aus zwei Linsensystemen, von denen jedes wie eine einzige Sammellinse wirkt. Die dem Gegenstande genäherte Linse a erzeugt ein physisches Bild, welches durch die zweite Linse b wie durch eine Lupe betrachtet wird (s. Abb. 1). Diese Konstruktion kam später auf, wir begegnen ihr erst im 2. Jahrzehnt des 17. Jahrhunderts.



Abb. 1. Mikroskop aus zwei Sammellinsen[1]).

Auch das Fernrohr bestand in seiner ersten Einrichtung, die nach glaubwürdigen Zeugnissen von dem holländischen Brillenmacher Franz Lippershey herrührt, in der Verbindung einer Konvexlinse als Objektiv mit einer Konkavlinse als Okular. Diese Vereinigung wird bekanntlich noch jetzt als holländisches Fernrohr bezeichnet und in binokularer Ausführung den heutigen Operngläsern und Krimstechern zugrunde gelegt. Auch hier leitete wohl der Zufall auf die Erfindung. Es wird nämlich erzählt, Lippershey habe seine Linsenkombination auf die Wetterfahne eines nahen Kirchturmes gerichtet und sei von der vergrößernden Wirkung überrascht gewesen.

Dafür, daß Lippershey in Middelburg das Fernrohr erfunden hat, sprechen Zeugnisse von Männern des 17. Jahrhunderts und auch behördliche Dokumente. In einem solchen wird Lippershey auf eine Bewerbung um ein Privilegium geantwortet, er möge sein Fernrohr so verbessern, daß man dadurch gleichzeitig mit beiden Augen sehen könne. Dies Verlangen soll Lippershey im Dezember des Jahres 1608 erfüllt haben, während die erste Einsendung seines aus Kristalllinsen verfertigten Fernrohrs nach neueren Untersuchungen[2]) im Herbst 1608 erfolgt sein soll.

Die Kunde von der wunderbaren Erfindung verbreitete sich mit großer Schnelligkeit. In Frankreich wurden schon im November des Jahres 1610 die Jupitermonde mit dem neuen Instrumente beobachtet. Nach Italien gelangte das Gerücht von der epochemachenden Erfindung im Jahre 1609, in Deutschland soll das Fernrohr schon 1608 zum Kaufe angeboten worden sein[3]).

---

[1]) Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig. W. Engelmann. 1899. Abb. 109.

[2]) Wolff, Gesch. d. Astronomie. S. 359.

[3]) Heller, Geschichte der Physik I. 386.

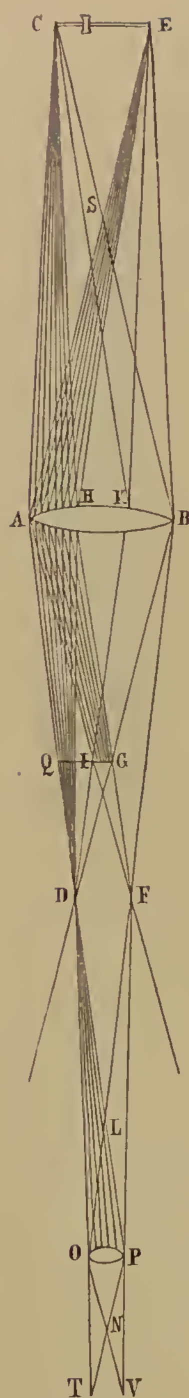


Abb. 2.

Keplers Konstruktion des astronomischen Fernrohrs (aus Keplers Dioptrik).

In Italien, wo Galilei auf der Höhe seines Schaffens stand, fand die Nachricht den geeignetsten Boden. Mit welchem Eifer Galilei sich der Sache annahm, hat er selbst in einer kleinen Schrift erzählt, die über die ersten, ihm gelungenen astronomischen Entdeckungen berichtet. Dort heißt es[1]. „Vor etwa zehn Monaten kam das Gerücht zu unseren Ohren, ein Niederländer habe ein Instrument erfunden, vermittelst dessen man entfernte Dinge so deutlich wie nahe gelegene sehe. Das veranlaßte mich, darauf zu sinnen, wie ich zur Verfertigung eines solchen Instruments gelangen könnte. Von den Gesetzen der Dioptrik geleitet, verfiel ich darauf, an den Enden eines Rohres zwei Gläser anzubringen, ein plankonvexes und ein plankonkaves. Als ich das Auge dem letzteren näherte, sah ich die Gegenstände etwa dreimal so nahe und neunmal vergrößert. Da ich weder Arbeit noch Kosten scheute, bin ich soweit gekommen, ein so vortreffliches Instrument zu erhalten, daß mir die Sachen fast 1000 mal so groß und 30 mal näher erscheinen, als wenn man sie mit bloßem Auge betrachtet.“

Das Fernrohr, welches Galilei anfertigte, war also gleichfalls ein holländisches, während das eigentliche astronomische Fernrohr wie das zusammengesetzte Mikroskop zwei Sammellinsen besitzt. Die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs wurde von Kepler in seiner Dioptrik[2] (siehe Abb. 2) angegeben, dem hervorragendsten Werk, das zu Beginn der neueren Zeit über die Brechung des Lichtes geschrieben wurde. Nach Keplers Vorschlag werden zwei Konvexlinsen so verbunden, daß die entferntere AB allein dem außerhalb OP befindlichen Auge ein umgekehrtes, aber undeutliches Bild liefern würde. Durch die Einschaltung der dem Auge näher befindlichen Linse OP werden die von D und F aus

[1]) Galilei, Sidereus nuntius, 1610. Le opere di Galileo Galilei, Edizione nazionale. Volume III. Parte prima. p. 60. Firenze 1892.

[2]) Johannis Kepleri Dioptrice. 1611. Kepleri Opera omnia (ed Frisch) II. 515 ff.

divergierenden Strahlen konvergent gemacht und so ein deutliches, wenn auch noch umgekehrtes Bild wahrgenommen.

Im letzten Teile seiner „Dioptrik" befaßt sich Kepler mit der Wirkung der verschiedenen Linsenkombinationen. Gleich die erste Aufgabe, die er sich stellt, enthält die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs. Sie lautet: „Durch zwei Konvexlinsen eine Vergrösserung des Gegenstandes bei vollkommener Deutlichkeit herbeizuführen, aber in umgekehrter Lage" [1]). Kepler nimmt an, das Objektivglas sei in solcher Entfernung von dem Gegenstande, daß sein umgekehrtes Bild undeutlich sein würde. Stellt man nun zwischen das Auge und dieses undeutliche Bild, und zwar nahe dahinter eine zweite Sammellinse, so wird letztere die „zu große Divergenz der aus dem Objektive kommenden Strahlen ausgleichen, und das Bild dadurch deutlich werden." Auch wird dieses durch das Okular erzeugte Bild, wie Kepler dartut, größer erscheinen als das Bild, welches „die dem Auge nächststehende Linse (O P) von der entfernteren Linse (A B) erhalten hatte [2]).

Das astronomische Fernrohr verdrängte binnen kurzem das holländische, weil es zwei Vorzüge besitzt. Einmal gewährt das astronomische Fernrohr ein größeres Gesichtsfeld. Ferner ermöglicht es die Anwendung eines Fadenkreuzes, mit welchem das zwischen Objektiv und Okular erzeugte reelle Bild zur Deckung gebracht werden kann.

Daß sich durch Einfügung einer dritten Konvexlinse das umgekehrte Bild, das ein solches Fernrohr liefert, in ein aufrechtes verwandeln läßt, hat Kepler gleichfalls dargetan [3]). Merkwürdigerweise wurde das nach ihm benannte astronomische Fernrohr nicht von ihm selbst, sondern einige Jahre später nach den Angaben der Dioptrik von Scheiner, dem wir in der Lebensgeschichte Galileis noch begegnen werden, zum ersten Male angefertigt. Auch das aus drei Konvexlinsen bestehende terrestrische Fernrohr hat Scheiner [4]) zuerst angefertigt.

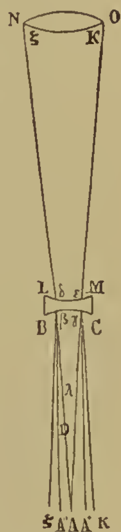


Abb. 3. Keplers Abbildung zur Erläuterung d. holländischen Fernrohrs.

[1]) Dioptrice, Problema LXXXVI. Duobus convexis majora et distincta praestare visibilia, sod everso situ.

[2]) Ostwalds Klassiker Bd. 144. S. 49.

[3]) Keplers Dioptrik, 89. Problem; es lautet: Tribus convexis erecta et distincta et majora praestare visibilia.

[4]) Wie er in seinem „Rosa ursina" betitelten Werke mitteilt. Siehe an späterer Stelle.

Kepler gibt sodann die erste Theorie des holländischen, aus der Verbindung einer Konvex- mit einer Konkavlinse bestehenden Fernrohrs (Abb. 3). Er zeigt nämlich, daß die verschwommenen Bilder, welche eine dicht vor das Auge gesetzte Konkavlinse (L M) liefert, deutlich und größer werden, wenn eine Konvexlinse (N O) in einer bestimmten Entfernung vor die Konkavlinse gehalten wird[1]. Im Zusammenhang mit seiner Beweisführung steht der durch Abb. 3 erläuterte Satz, daß Strahlen, welche durch eine Konvexlinse konvergent gemacht sind und noch vor ihrem Schnittpunkt auf eine Konkavlinse fallen, so gebrochen werden, daß entweder der Schnittpunkt weiter hinaus verlegt wird (nach A) oder die Strahlen parallel gemacht (A′ A″) oder endlich divergent weiter geschickt werden (ξ K).

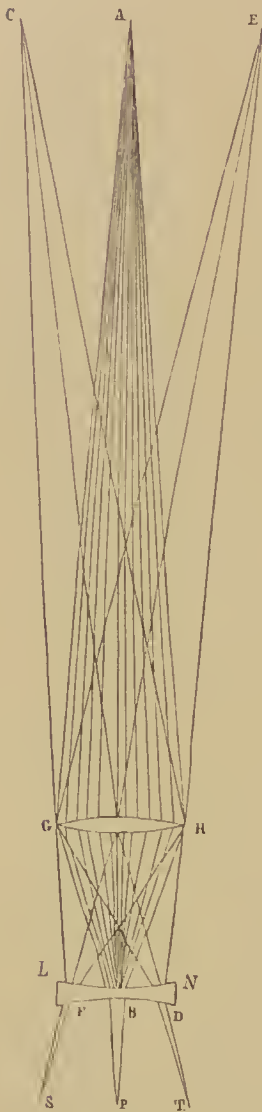


Abb. 4.
Keplers Teleobjektiv.

Kepler erläutert ferner, wie sich durch die Kombination einer Konkav- mit einer Konvexlinse reelle Bilder erhalten lassen, welche größer sind als die mit einer Konvexlinse allein erhaltenen Bilder. Diese von Kepler vorgeschlagene Vereinigung, welche Abb. 4 erläutert, hat erst vor kurzem den Anlaß zur Erfindung des Teleobjektivs gegeben. Kepler verfolgt den Gang von drei Strahlenbündeln, die von den Punkten C A E des Gegenstandes kommen (Abb. 4). Die Konkavlinse wird an eine Stelle gebracht, an welcher die Konvexlinse ein verschwommenes Bild geben würde. Indem also die Konkavlinse (L N) die Büschel kurz vor der Spitze auffängt und die Büschel zu den Spitzen S P T formt, erzeugt sie ein deutliches, reelles Bild, welches größer ist als das in F B D durch die Konvexlinse allein hervorgerufene.

Außer den hier hervorgehobenen wichtigsten Sätzen über die Wirkung von Linsenkombinationen bringt Kepler noch eine Fülle

[1] Ostwalds Klassiker. 144. (Keplers Dioptrik oder Schilderung der Folgen, die sich aus der unlängst gemachten Erfindung der Fernrohre für das Sehen und die sichtbaren Gegenstände ergeben. 1611. Übersetzt von F. Plehn. Leipzig, W. Engelmann, 1904). S. 61.

anderer, bezüglich deren jedoch auf die „Dioptrik" verwiesen werden muß. Um das Fernrohr zu verkürzen, empfiehlt er z. B. zwei gleiche Sammellinsen, die möglichst nahe hintereinander stehen als Objektiv zu wählen[1]). Auch der Vorschlag, das Rohr des Fernrohrs verschiebbar zu machen, um es den Augen anzupassen, rührt von Kepler her[1]).

Das Jahr, in welchem das astronomische oder Keplersche Fernrohr zur Ausführung gelangte, hat sich nicht genau ermitteln lassen. Es geschah wohl zwischen 1613 und 1617 und zwar, wie schon erwähnt, durch Scheiner.

Christoph Scheiner wurde im Jahre 1575 in einem kleinen schwäbischen Orte[2]) geboren. Mit 20 Jahren trat er in den Jesuitenorden ein. Er lehrte Mathematik in Ingolstadt und Rom und starb 1650 als Rektor eines Jesuitenkollegiums. Scheiner hat sich um die Begründung der Optik und um die Erfindung und Verbesserung der optischen Instrumente zur Zeit des Wiederauflebens der Naturwissenschaften neben Kepler die größten Verdienste erworben. Scheiner war einer der ersten, der das Fernrohr zu astronomischen Beobachtungen benutzte. Im April oder Mai des Jahres 1611 erblickte er die fast zur selben Zeit von Fabricius und Galilei gesehenen Sonnenflecken[3]). Gebührt ihm auch nicht die Priorität dieser Entdeckung, so war er es doch, der in jahrewährender Arbeit mehrere tausend Beobachtungen über die neue, so viel Aufsehen erregende Erscheinung anstellte. Diese Beobachtungen wären nicht möglich gewesen, wenn Scheiner nicht als erster an dem Fernrohr besondere Blendgläser angebracht hätte. Sie bestanden in geschliffenen, farbigen Platten, die er vor den farblosen Linsen befestigte. Seine ersten Versuche, die Linsen selbst aus farbigem Glase herzustellen und so das Licht zu schwächen, gab er bald wieder auf. Vielleicht war die Erblindung Galileis darauf zurückzuführen, daß er noch keine Blendgläser gebrauchte[4]).

Einen zusammenfassenden Bericht über seine Beobachtungen der Sonnenflecken veröffentlichte Scheiner 1630 unter dem Titel Rosa Ursina[5]). Es wird noch an anderer Stelle davon die Rede

[1]) Ostwalds Klassiker, 144. S. 72.

[2]) Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 173.

[3]) Näheres darüber siehe an späterer Stelle.

[4]) Humboldt, Kosmos III. 383.

[5]) Rosa ist ein symbolischer Name für die Sonne. Das Adjektiv Ursina weist darauf hin, daß Scheiner das Buch einem Herzog von Orsini widmete, der ihn bei seinen Untersuchungen unterstützt hatte.

sein. Hier sei nur hervorgehoben, daß diese Schrift die erste Nachricht von der Scheiner gelungenen Erfindung des astronomischen, aus zwei konvexen Linsen hergestellten Fernrohrs brachte. Die Möglichkeit einer solchen Konstruktion hatte, wie oben erwähnt, zwar Kepler angegeben. Die Ausführung und die erste Anwendung verdanken wir indessen Scheiner. Er erzählt in der Rosa Ursina, er habe mit dem neuen Instrument vor 13 Jahren (also 1617) dem Kaiser die Sonnenflecken gezeigt.

Scheiner wandte auch eine Linsenkombination unter dem Namen Helioskop zur objektiven Darstellung astronomischer Vorgänge an. Er zeigte z. B. die Sonnenflecken gleichzeitig einer größeren Anzahl von Personen, indem er sein Helioskop aus einem dunklen Zimmer gegen die Sonne richtete und hinter dem Instrument eine weiße Platte anbrachte, auf welcher dann die Sonnenscheibe mit ihren Flecken sichtbar wurde.

3. Galileis grundlegende Schöpfungen.

Auf dem Boden Italiens hatte das Wiederaufleben der Antike stattgefunden, dort entstanden durch Galilei und seine Schüler auch die Fundamente der neueren Naturwissenschaft. Zu der Zeit, als sich das Dunkel des Mittelalters zu lichten begann, war Italien in zahlreiche Republiken und Fürstentümer zerfallen, die in kriegerischem, sowie in friedlichem Wettbewerb um die Herrschaft rangen. Ihre Nahrung zogen diese kleinen Staatsgebilde vorwiegend aus dem Handel und dem Gewerbe. Seitdem sich die italienischen Seefahrer der Bussole und der geographischen Karten bedienten, hatte sich ein stetiger Verkehr mit der Levante entwickelt. Eine Folge davon war das Emporblühen des Kunstgewerbes. Venedigs Glasgegenstände, sowie die Majoliken und Metallgüsse anderer italienischen Städte galten als unübertroffen. Auf demselben Boden erwuchs auch die Kunst eines Lionardo da Vinci, Raphael und Michel Angelo, nachdem im Beginn dieser Periode Dante und Petrarka ihre unvergänglichen Dichtungen geschaffen. In dem Maße, wie die Blütezeit der Kunst sich ihrem Ende zuneigte, begann der wissenschaftliche Geist seine Schwingen zu regen. An demselben Tag, an dem Michel Angelo seine Augen für immer schloß, erblickte Galilei das Licht der Welt. Die Natur, sagt Libri[1]), schien damit andeuten zu wollen, daß die Kunst das Scepter an die Wissenschaft abgetreten habe.

Galileo Galilei[2]) wurde am 18. Februar (alten Stils) des Jahres 1564 in Pisa geboren. Diese Stadt war im Mittelalter eine

---

1) Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie. Bd. III. S. 201.

2) In seinen Galilei-Studien handelt E. Wohlwill von zahlreichen, das Leben Galileis betreffenden Einzelheiten (Mitteilungen zur Gesch. der Med. u. Naturwissensch.). Wohlwill unternimmt darin auch die Nachprüfung mancher Angaben der Biographen Galileis. Als erster unter diesen ist Niccolo Gherardini zu nennen. Er hatte Galilei 1633 kennen gelernt und gab 15 Jahre nach Galileis Tode die erwähnte Biographie heraus. Auch einem Schüler Galileis, Vincenzio Viviani, verdanken wir eine

freie gewesen; zur Zeit Galileis befand sie sich unter florentinischer Herrschaft, welche damals in den Händen des berühmten Geschlechts der Mediceer ruhte. Der Vater Galileis, Vincenzio Galilei, ein verarmter Edelmann, besaß eine große Vorliebe für Musik und Mathematik. Offenbar hat Galilei von ihm seine auf die Naturwissenschaften und gegen den Autoritätsglauben gerichteten geistigen Anlagen empfangen. Bezeichnend hierfür ist, daß Galileis Vater einen Dialog über die alte und die neuere Musik verfaßte, in welchem er sich gegen die Berufung auf Autoritäten ausspricht.

Der junge Galilei zeichnete sich durch Lernbegierde, sowie durch Selbständigkeit des Denkens aus. Er widmete sich in Pisa zunächst dem Studium der Medizin, einer Wissenschaft, die in ihrer damaligen Verfassung wenig geeignet war, einen Geist wie denjenigen Galileis zu fesseln. Es wird erzählt, daß er vor der Tür den Vorträgen eines Mathematikers lauschte und von den Hörern einige Brocken zu erhaschen suchte. Sobald der Mathematiker davon erfuhr, nahm er sich des jungen Menschen an und bewirkte, daß dieser das Studium der Medizin mit demjenigen der Mathematik und der Physik vertauschte.

Auf dem Gebiet der letzteren herrschten damals die aristotelischen Lehren so gut wie unangefochten. Sie wurden in Italien zu jener Zeit wie ein Evangelium betrachtet. Als Galilei den Aristoteles zu lesen begann, hatte er sich über viele Naturvorgänge schon eigene Meinungen gebildet. Er war nun in hohem Grade erstaunt, daß diese mit den herrschenden Lehren des griechischen Philosophen so wenig im Einklang standen. Bei weiterer Prüfung verwandelte sich das Staunen in Zweifel und endlich in völlige Abkehr von den als unrichtig erkannten älteren Lehrmeinungen.

Schilderung des Lebens seines Meisters. Ihr Titel lautet: Raconto istorico della vita di Galileo Galilei.

Eine von Wohlwill unternommene Würdigung der Galilei-Biographie Vivianis hat ergeben, daß die Angaben Vivianis nur mit Vorsicht aufzunehmen sind. Vivianis Darstellung zeigt, wie manche von Schülern herrührende Biographien, den Fehler, daß die Objektivität der Darstellung unter der pietätvollen Gesinnung des Schriftstellers leidet. Wohlwill kommt zu dem Ergebnis, daß die Angaben Vivianis, für welche eine Bestätigung durch anderweitige Zeugnisse fehlt, als hinreichend beglaubigte Daten nicht angesehen werden können. Zu weit scheint Wohlwill zu gehen, wenn er Viviani absichtliche Fälschungen vorwirft und z. B annimmt, Viviani habe Galilei die Erfindung der Pendeluhr zugeschrieben, während Viviani sie sehr wahrscheinlich selbst erfunden habe.

Als Fünfundzwanzigjähriger bestieg Galilei die Lehrkanzel und trat nun öffentlich als Gegner der aristotelischen Physik auf. Da er dabei mit großer Kühnheit die eigene wissenschaftliche Überzeugung über die Autorität stellte, machte er sich in Pisa, wo man ihn des beharrlichen Verfechtens seiner Meinung wegen den Zänker nannte, auf die Dauer unmöglich. Mit Freuden folgte er deshalb einem vom venetianischen Senat an ihn ergangenen Ruf an die Universität Padua, wo er im Dezember des Jahres 1592 seine Antrittsvorlesung hielt. Die Eigenart Galileis, seine Ansichten auf eigene Beobachtungen und zweckmäßig ersonnene Versuche zu stützen, hat sich schon in den ersten Jahren seiner wissenschaftlichen Tätigkeit in Pisa geäußert. So ließ er Holz, Marmor und Blei aus bedeutender Höhe herabfallen und zeigte, daß, entgegen der Behauptung der Aristoteliker, die Fallzeit für Körper von verschiedenem Gewicht dieselbe sei. Durch den Wind in Schwingungen versetzte Lampen sollen seine später zu besprechenden Forschungen über die Pendelbewegung veranlaßt haben. Es wird erzählt, Galilei habe, als er eine an einer langen Kette schwankende Lampe im Dom seiner Vaterstadt beobachtete, die Schwingungszeit aus der Zahl seiner Pulsschläge ermittelt und auf diese Weise den Isochronismus der Pendelschwingungen entdeckt, d. h. die Tatsache, daß Schwingungen von kleinerem und größerem Ausschlag bei unveränderter Länge des Pendels die gleiche Zeit beanspruchen.

Euklid, Apollonios und Archimedes boten ihm während dieser Zeit des wissenschaftlichen Heranreifens die meiste Anregung. Aus dem Schüler wurde aber bald ein Meister, der seine Lehrer überflügelte. Nicht in dem Erlernen, sondern in der Weiterentwicklung der Wissenschaft erblickte Galilei seine Aufgabe. Wo Erstarrung eingetreten war, galt es, durch neue Wege und bessere Methoden den Fortschritt der Erkenntnis herbeizuführen. In dieser Richtung sehen wir ihn in wachsendem Maße sich betätigen, seitdem er das Lehramt in Padua angetreten. Auch war er schon frühzeitig der koppernikanischen Lehre zugetan. In einem 1597 an Kepler geschriebenen Briefe bekennt er nämlich, daß er „seit vielen Jahren“ Anhänger der neuen Weltanschauung sei.

Dieser Brief, in welchem er Kepler für die Übersendung des „Prodomus“, der Erstlingsarbeit des großen Deutschen, seinen Dank ausspricht, ist für die Stellung, welche beide Männer zu ihren Zeitgenossen einnehmen, so bezeichnend, daß er im Auszuge hier Platz finden möge. „Ich preise mich glücklich“, schreibt

Galilei, „in dem Suchen nach Wahrheit einen so großen Bundesgenossen gefunden zu haben. Es ist wirklich erbärmlich, daß es so wenige gibt, die nach dem Wahren streben und bereit sind, von der verkehrten Art zu philosophieren abzugehen. Aber es ist hier nicht am Platz, die Jämmerlichkeit unserer Zeit zu beklagen, sondern Dir zu Deinen herrlichen Forschungen Glück zu wünschen. Ich tue das um so lieber, als ich seit vielen Jahren Anhänger der koppernikanischen Ansicht bin. Sie erklärt mir die Ursache vieler Erscheinungen, welche bei der allgemein gültigen Ansicht ganz unbegreiflich sind. Ich habe zur Widerlegung der letzteren viele Gründe gesammelt, doch wage ich es nicht, sie ans Licht der Öffentlichkeit zu bringen. Wahrlich, ich würde es wagen, wenn es mehr solche Männer, wie Du bist, gäbe. Da dies aber nicht der Fall ist, so spare ich es mir auf"[1]).

Galilei hatte allen Grund vorsichtig zu sein, denn ein Jahr, nachdem er diese Zeilen geschrieben, wurde Giordano Bruno, der begeisterte Verfechter der koppernikanischen Lehre, der römischen Inquisition ausgeliefert, um später seine Kühnheit auf dem Scheiterhaufen zu büßen.

Die Befreiung von den Banden der Scholastik findet auch darin ihren Ausdruck, daß Galilei, obwohl er das Latein, die Sprache des Mittelalters beherrscht, in Wort und Schrift sich meist der Muttersprache bedient. Dank für dieses Unterfangen erweist ihm jedoch nur die lernbegierige Jugend, welche dem begeisterten Verkünder einer neuen Ära in Scharen zuströmt. Auch Gustav Adolf, der als Kronprinz in Italien weilte, soll, nach Vivianis Erzählung, sich in Padua unter seinen Zuhörern befunden haben[2]).

Wir sahen, welche Rolle Galilei in der Geschichte des Fernrohrs spielte. Die Erfindung dieses Instrumentes veranlaßte ihn, sich seit dem Jahre 1609 mit großem Eifer und Erfolge astronomischen Beobachtungen zu widmen. Von besonderer Wichtigkeit war die Entdeckung, daß vier kleinere Weltkörper den Jupiter umkreisen. Dieses Gestirn mit seinen Trabanten bot ihm nämlich einen Analogiebeweis für die Richtigkeit der koppernikanischen Weltansicht.

---

1) Galilei, Opere complete ed Alberi, VI. 11—12.

2) Verbürgt ist dies nicht. Nach neueren Untersuchungen handelt es sich sogar wohl nur um eine Erfindung, mit der man Galilei einen besonderen Nimbus zu verleihen bezweckte.

Nach Wohlwill (Galilei-Studien in den Mitteil. zur Gesch. d. Med. u. Naturwissensch. Bd. IV. Nr. 27. S. 247) ist Gustav Adolf niemals in Italien gewesen.

„Ich bin vor Verwunderung ganz außer mir“, schrieb Galilei damals, „und sage Gott unendlichen Dank, daß es ihm gefallen hat, so große und allen Jahrhunderten unbekannte Wunder durch mich entdecken zu lassen. Daß der Mond ein der Erde gleicher Körper sei, dessen war ich schon versichert. Auch habe ich eine Menge nie gesehener Fixsterne, welche die Zahl derer, die man mit bloßem Auge sehen kann, mehr als zehnmal übertrifft, entdeckt und weiß nun, was die Milchstraße ist. Ferner habe ich entdeckt, daß Saturn aus drei Kugeln besteht, die sich fast berühren, nie ihre Stelle gegen einander verändern und längs des Tierkreises in einer Reihe, wie ∘ ◯ ∘ stehen, dergestalt, daß der mittlere die anderen dreimal an Größe übertrifft“ [1]).

Von der Gleichgültigkeit und dem Widerstande, dem damals die größten Entdeckungen begegneten, zeugt eine Stelle in einem Briefe Galileis an Kepler. Sie lautet: „Als ich den Professoren am Gymnasium zu Florenz die Jupitertrabanten durch mein Rohr zu zeigen wünschte, wollten sie weder diese noch das Rohr sehen. Diese Menschen glauben, in der Natur sei keine Wahrheit zu suchen, sondern nur in der Vergleichung der Texte“ [2]).

Ausführlicher hat Galilei über seine astronomischen Entdeckungen in dem „Himmelsboten“ [3]) berichtet, einem Buch, das ungeheures Aufsehen erregte, aber auch eine ganze Schar von Gegnern in Bewegung setzte.

Eine weitere Stütze erhielt das koppernikanische System durch die Entdeckung, daß die Planeten, ähnlich wie der Mond, Lichtphasen aufweisen. Sie erschienen nämlich bald als leuchtende Scheiben, bald waren sie von halbkreis- oder sichelförmiger Gestalt. Letzteres war der Fall, wenn die Planeten ihre von der Sonne beleuchtete Hälfte nicht voll dem Beschauer zukehrten. Damit war gerade einer der Nachweise geliefert, den die Gegner des Koppernikus forderten. Die Fixsterne erschienen Galilei dagegen nur als leuchtende Punkte und sind es trotz aller Zunahme der vergrößernden Kraft der Fernrohre bis auf den heutigen Tag geblieben. Sobald Galilei indes das bewaffnete Auge auf

[1]) Aus Fabronis „Lettere inedite d'uomini illustri, Florenz 1773“, übersetzt von C. J. Jagemann. Siehe Geschichte des Lebens und der Schriften des Galilei von C. J. Jagemann, Weimar 1783.

[2]) Nach A. B. Hanschmann, Bernhard Palissy als Vater der induktiven Wissenschaftsmethode. Leipzig 1903. S. 145.

[3]) Sidereus nuntius. Venedig 1610. Diese Schrift findet sich im dritten Bande der Alberischen Gesamtausgabe der Werke Galileis.

den Himmel richtete, erkannte er, daß die Zahl der Fixsterne viele Male die Zahl der mit bloßem Auge sichtbaren Sterne übertrifft. Auch die Berge des Mondes entgingen Galilei nicht. Ja, er war sogar imstande, ihre Höhe aus der Länge des Schattens zu berechnen.

Den Ruhm, die Sonnenflecken entdeckt zu haben, mußte er jedoch mit mehreren zeitgenössischen Astronomen teilen [1]). Die Sonnenflecken hatten sich selbst Kepler in eigentümlicher Weise bemerkbar gemacht, ohne daß er sich dabei eines Fernrohrs bedient hätte [2]). Der aus der Bewegung der Flecken gezogene Schluß, daß die Sonne sich dreht, war eine weitere Tatsache, die zur Stütze der neuen Weltansicht herangezogen werden konnte.

Als Galilei seine astronomischen Entdeckungen begann, richtete auch der Deutsche Johann Fabricius [3]) das kurz zuvor in Holland erfundene Fernrohr auf den Himmel. Diesem Fabricius gebührt hinsichtlich der Sonnenflecken sogar die Priorität der Entdeckung, um welche zwischen Galilei und Scheiner mit so großer Heftigkeit gestritten wurde. In einer 1611 erschienenen Schrift [4]) berichtet Fabricius über seine Beobachtung mit folgenden Worten: „Als ich den Rand der Sonne aufmerksam betrachtete, zeigte sich mir unerwartet ein schwärzlicher Fleck. Zuerst glaubte ich, es sei eine vorüberziehende Wolke. Am nächsten Morgen erschien aber beim ersten Anblick der Fleck wieder, indes schien er ein wenig seine Stellung verändert zu haben. Darauf herrschte drei Tage trübes Wetter. Als wir wieder heiteren Himmel bekamen, war der Fleck von Ost nach West gerückt, und kleinere waren an seine Stelle getreten. Darauf entzog sich der große Fleck am entgegengesetzten Rande nach und nach den Blicken. Daß den kleineren dasselbe bevorstand, sah man aus ihrer Bewegung. Eine unbestimmte Hoffnung ließ mich die Wiederkehr der Flecken erwarten. Und in der Tat, nach 10 Tagen begann der größere Fleck am östlichen Rande von neuem hervorzutreten“.

Neben Galilei und Fabricius verdient auch Scheiner [5]) als Astronom, der die Sonnenflecken selbständig entdeckte, genannt

---

1) Fabricius und Scheiner.

2) Siehe weiter unten bei Kepler.

3) Gerhard Berthold, Der Magister Johann Fabricius und die Sonnenflecken. Leipzig 1894.

4) De maculis in sole observatis. Wittenberg 1611. Ein Neudruck des sehr seltenen lateinischen Originals findet sich in der erwähnten Schrift von G. Berthold.

5) Siehe S. 13.

zu werden. Scheiner berichtete über seine Beobachtungen in einigen, an den Bürgermeister von Augsburg gerichteten Briefen[1]), welche die Mitteilung enthielten, Scheiner habe im April des Jahres 1611 dunkle Flecken auf der Sonnenscheibe wahrgenommen. Der Bürgermeister sandte diese Briefe an Galilei, um dessen Meinung zu erfahren und erhielt von Galilei die Antwort, er habe dieselbe Erscheinung schon im Oktober 1610 wahrgenommen und sie auch anderen gezeigt. Scheiner war im Zweifel, ob die Flecke sich auf oder dicht über dem Sonnenkörper befänden, trotzdem schloß er aus ihrer Bewegung, die er mit größter Ausdauer verfolgte, auf eine Drehung der Sonne. Scheiner glaubte zuerst an eine optische Täuschung oder an einen Fehler seines Instruments. Erst nachdem er auf die Sonne acht Fernrohre gerichtet und sie ihm und den herbeigerufenen Zeugen dasselbe gezeigt hatten, glaubte er seiner Sache sicher zu sein.

Als Grund der eigentümlichen Erscheinung gab es zwei Möglichkeiten, die beide eingehend erörtert wurden. Entweder gehörten die Flecken dem Sonnenkörper an — und diese Ansicht vertrat von vornherein Fabricius — oder man hatte es mit dunklen, die Sonne umkreisenden Körpern zu tun, eine Annahme, die besonders unter denjenigen Astronomen Anhänger fand, welche die neue Erscheinung mit der aristotelischen Lehre von der Reinheit der Sonne in Einklang zu bringen suchten. Fortgesetzte Beobachtungen verhalfen jedoch der ersten Ansicht zum Siege. Blieb es auch unentschieden, welchen Ursprung die Flecken besitzen, so zögerte man doch nicht, nachdem man sie als Teile der Sonne erkannt hatte, aus ihrer Bewegung auf eine Achsendrehung dieses Weltkörpers zu schließen, sowie daraus die Dauer jener Bewegung und die Lage des Sonnenäquators abzuleiten.

Diese Fülle von Entdeckungen hatte zur Folge, daß die Frage nach der Richtigkeit des koppernikanischen Systems in den Mittelpunkt der Erörterung gestellt wurde. Alles, was in Italien an Frömmelei, an scholastischem Dünkel und an Neid gegen den Ruhm des großen Entdeckers herrschte, vereinigte sich, um unter dem Vorgeben, die von Koppernikus begründete und von Galilei verteidigte Lehre sei der heiligen Schrift zuwider, den großen Mann zu Fall zu bringen. Es ist dies eins der traurigsten Blätter in der Geschichte der Wissenschaften. Jene angeblich religiösen

---

[1]) An Marcus Welser. Die Briefe waren vom November und Dezember des Jahres 1611 datiert und mit dem Pseudonym „Apelles latens post tabulam“ unterzeichnet.

Bedenken gegen den Fortschritt der letzteren hat keiner mit solch trefflichen Worten zurückgewiesen wie Galilei selbst. Es geschah dies in einem Briefe, aus dem einige Stellen[1]) hier Platz finden mögen:

„Wir bringen das Neue nicht, um die Geister zu verwirren, sondern um sie aufzuklären, nicht um die Wissenschaft zu zerstören, sondern um sie wahrhaft zu begründen. Unsere Gegner aber nennen, was sie nicht widerlegen können, falsch und ketzerisch, indem sie sich aus erheucheltem Religionseifer einen Schild machen und die heilige Schrift zur Dienerin ihrer Absichten erniedrigen.

Wer sich an den nackten, grammatischen Sinn halten wollte, müßte die Bibel Widersprüche zeihen, wenn sie von Gottes Auge, Hand oder Zorn redet. Wenn aber solches der Fassungskraft des Volkes entsprechend vorkommt, um wieviel mehr mußte diese bei Gegenständen berücksichtigt werden, die von der Wahrnehmung der Menge weit abliegen und nicht das Seelenheil betreffen, wie es auf dem Gebiete der Naturwissenschaften der Fall ist. Hier muß man nicht mit der Autorität der Bibel beginnen, sondern mit der Wahrnehmung und dem Beweis. Da die Bibel vieles figürlich sagt, so darf das, was Wahrnehmung und Beweis uns ersichtlich machen, nicht durch solche Stellen der heiligen Schrift in Zweifel gezogen werden, die einen doppelten Sinn haben. Vor allem muß man sich der Tatsache versichern; ihr kann die Bibel nicht entgegen sein, sonst würde Gott sich selbst widersprechen. Die Bibel redet, wie das damalige Volk die Sache ansah. Hätte sie der Erde Bewegung und der Sonne Ruhe beigelegt, so würde das die Fassungskraft der Menge verwirrt haben. Wo hat aber die Bibel die neue Lehre verdammt? Man setzt das Ansehen der Bibel aufs Spiel, wenn man die Sache anders nimmt und, statt nach erwiesenen Tatsachen den Sinn der Schrift zu deuten, lieber die Natur zwingen, den Versuch leugnen, den Beweis verschmähen will.

Das Verbieten der Wissenschaft selbst aber wäre gegen die Bibel, die an hundert Stellen lehrt, wie der Ruhm und die Größe Gottes wunderbar aus allen seinen Werken hervorleuchten und vor allem im offenen Buche des Himmels zu lesen sind. Und glaube niemand, daß das Lesen der erhabensten Gedanken, die auf diesen

---

1) In der von Moritz Carriere gegebenen Übersetzung. Siehe Carriere, Die philosophische Weltanschauung der Reformationszeit. Stuttgart und Tübingen 1847. S. 139.

Blättern geschrieben stehen, damit getan sei, daß man bloß den Glanz der Sterne angafft. Da sind so tiefe Geheimnisse und so erhabene Begriffe, daß die Nachtarbeiten und Studien von hundert und aber hundert der schärfsten Geister in tausendjährigem Forschen noch nicht durchgedrungen sind und die Lust des Forschens und Findens ewig währt."

Trotz aller Bemühungen und Vermittlungsversuche, die Galilei zugunsten der heliozentrischen Weltansicht unternahm, fanden in Rom, wo man ihm anfangs geneigt war, von fanatischen Mönchen ausgehende Anschuldigungen schließlich Gehör. Im Jahre 1616 kam es zum Verbot aller Schriften, welche die Bewegung der Erde behaupteten. Das Werk des Koppernikus aber wurde einer entsprechenden Änderung unterzogen. Das bezügliche Dekret lautete: „Behaupten, die Sonne stehe unbeweglich im Mittelpunkt der Welt, ist töricht, philosophisch falsch und, weil ausdrücklich der heiligen Schrift zuwider, förmlich ketzerisch. Behaupten, die Erde stehe nicht im Mittelpunkt der Welt und habe sogar eine tägliche Umdrehung, ist philosophisch falsch und zum mindesten ein irriger Glaube." Die Ironie des Schicksals fügte es, daß zur selben Zeit, als Galilei vergeblich den Kampf gegen die Unwissenheit und den Autoritätsglauben führte, das heliozentrische System, dem bis dahin noch manche Unvollkommenheiten anhafteten, durch die Arbeiten Keplers auf den Rang einer wohlbegründeten Theorie erhoben wurde.

Galilei lehrte, als das erwähnte Dekret erschien, nicht mehr in Padua. In seinem engeren Vaterlande, in Florenz, war ein Fürst, den er als Prinzen unterrichtet hatte, zur Regierung gelangt. Dieser wünschte dem Lehrer seine Dankbarkeit zu beweisen und ihn als Zierde des eigenen Landes wirken zu sehen. Galilei ließ sich gern zur Rückkehr bewegen, da er mit seiner neuen Anstellung nicht die Verpflichtung übernahm, Vorträge zu halten, sondern ausschließlich seiner wissenschaftlichen Tätigkeit leben durfte. Länger als ein Jahrzehnt hat er diese ungestört ausgeübt. Zwar starb sein hochherziger Gönner. Bald darauf gestalteten sich jedoch in Rom selbst die Verhältnisse günstiger, indem mit Urban VIII. ein von regem Interesse für die astronomische Wissenschaft beseelter Mann den päpstlichen Stuhl einnahm. Urban hatte sogar Gedichte auf die Entdeckung der Jupitertrabanten verfaßt und brachte Galilei großes Wohlwollen entgegen. Alle Bemühungen des letzteren, den Papst von der Richtigkeit der koppernikanischen Lehre zu überzeugen und eine Zurücknahme

der kirchlichen Entscheidung vom Jahre 1616 herbeizuführen, waren jedoch vergeblich.

Unterdessen schrieb Galilei in der Stille seines Landhauses den „Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme“, welcher die glänzendste Verteidigung der koppernikanischen Lehre darstellt [1]).

Der Dialog, der aus vier umfangreichen Gesprächen oder Tagen, wie Galilei sich ausdrückt, besteht, ist eins der merkwürdigsten Bücher, die je geschrieben worden sind. Handelt es sich doch nicht nur darum, zu entscheiden, welches von den beiden Weltsystemen das richtige sei, sondern um die Darlegung einer Methode wissenschaftlichen Forschens und Denkens, die zu dem bisher meist geübten Verfahren in einem schroffen Gegensatze steht. Der Geist, der sich in diesem Buche ausspricht, bezeichnet eine Überwindung der bisherigen Stufe, einen Schritt vorwärts, den die Menscheit auf dem Wege des Denkens macht, wenn auch manches schon vor Galilei im Keime vorhanden war. Darum müssen wir Galileis Dialog als eines der wichtigsten Dokumente der Geschichte des menschlichen Geistes betrachten.

Die Gesprächsform wählte Galilei in diesem und auch in späteren Werken teils aus ästhetischen, teils aus didaktischen Gründen. Auch mag ihn das Vorbild der platonischen Dialoge dazu veranlaßt haben. Außerdem sprechen Opportunitätsrücksichten für diese Art der Veröffentlichung. Von den sich unterredenden Personen sind Salviati und Sagredo Freunde und Anhänger Galileis, denen er im Dialog ein Denkmal setzt, indem er sie zu Trägern seiner Ansichten macht. Simplicio, eine fingierte Persönlichkeit, ist der Verfechter der zu Galileis Zeiten überwuchernden, dem blinden Autoritätsglauben huldigenden Buchgelehrsamkeit.

Im ersten Gespräch wird die Lehre des Aristoteles von der besonderen, im Gegensatz zu allem Irdischen stehenden Natur der Himmelskörper angefochten. Das Erscheinen neuer Sterne und die Sonnenflecken dienen Galilei als wichtige Argumente gegen die aristotelische Ansicht von der Unveränderlichkeit der Himmelskörper. Gegen die von Aristoteles behauptete vollkommene

---

[1]) Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Koppernikanische, von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von Emil Strauß. Leipzig, B. G. Teubner 1891. Der Titel des Originals lautet: Dialogo de Galileo Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano. MDCXXXII.

Kugelgestalt der Gestirne führt Galilei die von ihm entdeckten Berge des Mondes ins Feld. Die Unvergänglichkeit ist ferner nach ihm ein Attribut aller Materie und nicht etwa der himmlischen allein. „Ich habe“, läßt er Salviati sagen, „nie eine Umwandlung der Stoffe ineinander begreifen können, vermöge deren ein Körper als vernichtet zu gelten habe und ein völlig verschiedener Körper aus ihm hervorgegangen sein soll. Ich halte es für möglich, daß die Umwandlung durch eine bloße Veränderung in der Anordnung der Teile geschieht, ohne daß etwas vernichtet oder etwas Neues erzeugt wird.“

So sehen wir Galilei in die, aus a priori aufgestellten Sätzen abgeleiteten, Lehren des Aristoteles, dessen Lehrgebäude und Methode bis dahin die herrschende gewesen, erfolgreich Bresche legen. Bewundernswert ist der Geist, mit dem er jede Spitzfindigkeit der Aristoteliker, die er dem Simplicio in den Mund legt, ad absurdum führt. Wenn Simplicio sich zu dem Ausspruch versteigt, Aristoteles könne keinen Denkfehler machen, da er der Erfinder der Logik sei, so ist Galilei sofort mit dem treffenden Einwurf bei der Hand, es könne jemand sehr wohl ein guter Instrumentenmacher sein, ohne deshalb kunstgeübt auf seinen Instrumenten spielen zu können[1]).

Was nun die Frage anbetrifft, ob sich sämtliche Himmelskörper in 24 Stunden um die Erde, oder letztere in der gleichen Zeit um sich selbst bewegt, so gibt Galilei zu, daß allerdings beide Annahmen auf den ersten Blick wohl die beobachteten Erscheinungen erklären. Die Gründe, die sich für eine Drehung der Erde anführen ließen, seien jedoch überwältigend.

„Wenn wir“, meint Galilei, „nur den ungeheuren Umfang der Sternensphäre betrachten, im Vergleiche zu der Kleinheit des Erdballs, der in jener viele Millionen mal enthalten ist, und sodann an die Geschwindigkeit der Bewegung denken, infolge deren in einem Tage eine ganze Umdrehung des Himmels sich vollziehen müßte, so kann ich mir nicht einreden, daß die Himmelssphäre sich dreht, der Erdball hingegen fest bleibt.“ Wolle man aber jene gewaltige Bewegung dem Himmel beilegen, so müsse man notwendigerweise diese als entgegengesetzt den besonderen Bewegungen der sämtlichen Planeten betrachten, die alle ihre eigene Bewegung von West nach Ost besäßen und zwar eine sehr langsame. Lasse

[1]) Ausgabe von Strauß S. 37.

man dagegen die Erde sich um sich selbst bewegen, so falle jener Gegensatz der Bewegungen fort.

Eine dritte Schwierigkeit bestehe darin, daß je größer die Sphäre sei, der Umlauf um so längere Zeit in Anspruch nehme. Saturn, dessen Bahn an Größe die aller Planeten übertreffe, vollende seinen Umlauf in dreißig Jahren. Jupiter beschreibe seinen eigenen Kreislauf in zwölf Jahren, Mars in zweien, der Mond endlich, das uns nächste Gestirn, innerhalb eines Monats. Dasselbe hatten Galilei die Jupitertrabanten gelehrt, für die sich als Umlaufszeiten für den innersten Trabanten 42 Stunden, für den folgenden $3^1/_2$ Tage, den nächsten 7 und den äußersten endlich 16 Tage ergeben hatten.

Wolle man nun die Erde ruhen lassen, so müsse man von dem ganz kurzen Umlauf des Mondes zu immer größeren übergehen, zu dem zweijährigen des Mars, dem zwölfjährigen des Jupiter, dem dreißigjährigen des Saturn, dann aber plötzlich zu einer unvergleichlich viel größeren Sphäre, der man gleichwohl eine volle Umdrehung in 24 Stunden beilegen müsse. Nehme man aber eine Bewegung der Erde an, so werde die Geschwindigkeit der Perioden aufs beste gewahrt: Von der trägsten Sphäre des Saturns gelange man dann zu den ganz unbeweglichen Fixsternen.

Als weitere Schwierigkeit der Ptolemäischen Weltanschauung führt Galilei die gewaltige Ungleichheit in den Bewegungen der Fixsterne an, von welchen einige sich außerordentlich schnell in ungeheuren Kreisen drehen müßten, andere langsam in kleinen Kreisen, da sich die einen in größerer, die anderen in geringerer Entfernung vom Himmelspole befänden.

Noch verwickelter aber werde die Sache dadurch, daß die Fixsterne in ihrer Stellung langsamen Änderungen unterworfen seien. „Diejenigen nämlich," führt er aus, „die vor Jahrtausenden im Äquator standen und folglich bei ihrer Bewegung größte Kreise beschrieben, müssen, weil sie heutzutage mehrere Grade von ihm entfernt sind, sich langsamer und in kleineren Kreisen bewegen. Auch wird es sogar geschehen, daß einer von denen, die sich bisher stets bewegt haben, schließlich mit dem Pole zusammenfällt und dann feststeht, nach einiger Zeit der Ruhe aber wiederum anfängt sich zu bewegen."

Bezüglich der Entstehung des Sonnensystems hatte Galilei sich eine Ansicht gebildet, welche der auf Laplace und Kant zurückzuführenden Anschauung, nach welcher die Planeten aus der Sonne hervorgegangen sind, gerade entgegengesetzt ist.

Galilei stellt sich vor, der göttliche Baumeister habe zuerst die Sonne gebildet und ihr einen festen Platz verliehen. Dann seien aus seiner Hand die Planeten hervorgegangen. Diese hätten sich von dem Orte ihrer Entstehung mit wachsender Geschwindigkeit nach der Sonne hinbewegt. Dann seien sie, wiederum durch göttlichen Eingriff, an einem bestimmten Punkte mit der bis dahin erlangten Geschwindigkeit aus der Fall- in eine Drehbewegung versetzt worden. Nach Galilei sind z. B. Jupiter und Saturn von demselben Punkte nach der Sonne hin gefallen. Da Jupiter tiefer fiel, erlangte er eine größere Geschwindigkeit, mit der er sich jetzt innerhalb der Bahn des langsamer umlaufenden Saturns um die Sonne bewegt.

Man kann noch weiter gehen, meint Galilei, und aus dem Verhältnis der Geschwindigkeiten von Jupiter und Saturn, die sich ja aus dem Abstand von der Sonne und der Umlaufszeit ergeben, und aus dem Maße der Beschleunigung einer nach dem Zentrum gerichteten Bewegung berechnen, in welcher Entfernung von diesem Zentrum der Ort sich befunden hat, von dem die Planeten ausgingen.

Dafür, daß die Erde und die Himmelskörper gleichartig seien, führt Galilei besonders die Gebirge des Mondes ins Feld. Sind doch die Gestirne nach der neuen Lehre Erden wie unsere Erde, während sie vorher, wenn auch nicht mehr als göttliche, so doch als übernatürliche Wesen gegolten hatten. In dieser Versetzung der Erde unter die Sterne, unter Aufgabe des anthropozentrischen Standpunktes, liegt eben das Umwälzende, die befangene Menge Aufregende, der neuen Weltanschauung.

Galilei wies auch darauf hin, daß die Sonnenflecken eine verhältnismäßig geringe Beständigkeit besitzen. Er sah sie entstehen und sich allmählich wieder auflösen und verschwinden[1]. Daraus nahm Galilei den besonderen Anlaß, sich gegen die peripatetische Lehre von der Unwandelbarkeit der Gestirne und gegen die Vorstellung, daß das Beständige und Unveränderliche das Vollkommenere sei, zu wenden. Hierin zeigt sich vor allem der Wandel, den das Weltbild an der Schwelle der Neuzeit erfährt. Die Starrheit, welche es im Altertum und ganz besonders im Mittelalter besessen, weicht der Vorstellung, daß überall ein Werden, eine Entwicklung vor sich geht. Und dieser Entwicklungsgedanke ist

[1]) Dialog, S. 57.

es, der bis auf den heutigen Tag an Kraft und Ausdehnung stetig zugenommen hat und heute nicht nur die wissenschaftlichen, sondern auch alle übrigen, selbst die metaphysischen Vorstellungen beherrscht.

Galilei verleiht diesem Gedanken in folgenden Worten Ausdruck: „Ich kann nur mit dem größten Widerstreben anhören, daß die Eigenschaften des Unwandelbaren und Unveränderlichen als etwas Vornehmes und Vollkommenes gelten und im Gegensatz dazu die Veränderlichkeit als etwas Unvollkommenes gilt. Ich halte die Erde für höchst vornehm gerade wegen der Wandlungen, die sich darauf abspielen, und dasselbe gilt von dem Monde, vom Jupiter und anderen Weltkugeln."

Worin diese Wandlungen der Gestirne beständen, vermöge sich die mächtigste Einbildungskraft nicht vorzustellen. Deshalb tritt Galilei auch der Annahme, daß die Gestirne den irdischen Geschöpfen ähnliche Lebewesen beherbergen, entgegen.

Den Fixsternen hatte man vor Galilei, durch die Erscheinung der Irradiation verleitet, eine bedeutende scheinbare Größe zugeschrieben und sie für verhältnismäßig nahe Weltkörper gehalten. Durch Koppernikus und mehr noch durch Galilei, der sie zuerst als bloße Lichtpünktchen wahrnahm, wurden sie in unermeßliche Fernen gerückt, zumal nachdem Galilei gezeigt hatte, daß sie in Wahrheit einen wenigstens tausendmal geringeren scheinbaren Durchmesser besitzen, als es infolge der Irradiation den Anschein hat[1]). Während nämlich noch Tycho für einen Fixstern erster Größe einen scheinbaren Durchmesser von zwei Minuten gemessen zu haben glaubte, eben weil er auf die Irradiation keine Rücksicht nahm, gibt Galilei für den Durchmesser eines solchen Sternes als obere Grenze den Wert von 5 Sekunden an. Spätere Untersuchungen ergaben, daß sich für die Fixsterne überhaupt kein scheinbarer Durchmesser nachweisen läßt.

Dafür, daß nicht nur auf der Sonne, sondern auch in der unendlich viel weiter entfernten Region der Fixsterne Entwicklung, Vernichtung, kurz eine den irdischen Vorgängen ähnliche Wandelbarkeit besteht, führt Galilei das plötzliche Erscheinen neuer Sterne in den Jahren 1572 und 1604 an. Für das Sonnensystem dagegen bezeugen ihm nicht nur die am Zentralkörper auftretenden, ihre Form und Größe ändernden Flecken, sondern auch das Auftauchen und das Verschwinden von Kometen, daß überall in der

[1]) Dialog (Ausgabe von Strauß) S. 81.

Welt ein natürliches Geschehen stattfindet und daß der Himmel keine über das Naturgesetz hinausgehende Sonderstellung einnimmt. Außer den astronomischen Gründen, welche der vorkoppernikanischen Astronomie für eine Bewegung der Gestirne um die im Weltzentrum ruhende Erde zu sprechen schienen, gab es für diese Annahme noch einige physikalische Scheingründe, die Galilei jedoch gleichfalls widerlegte[1]). Aristoteles und seine Anhänger behaupteten nämlich, daß der senkrechte Fall die Ruhe der Erde beweise. Rotiere diese nämlich, so könne ein senkrecht emporgeworfener Körper nicht längs derselben Linie an den nämlichen Ort zurückkehren, von dem aus er geworfen wurde. Während der für das Steigen und Fallen erforderlichen Zeit habe sich der Ort, wenn eine Rotation vorhanden sei, um ein bedeutendes Stück nach Osten verschoben, der Körper müsse also nach Westen abweichen. Dem widerspräche aber die Beobachtung. Der zweite Einwurf besagte, daß die Erde, wenn sie rotiere, alle nicht in der Nähe der Pole befindlichen Gegenstände vermöge der Schwungkraft von ihrer Oberfläche abschleudern müsse.

Dem ersten Einwurf gegenüber hebt Galilei hervor, daß der Turm, von dem man den Stein herabfallen läßt, sich mit der gleichen Geschwindigkeit nach Osten bewegt wie der Stein. Ein ähnliches Verhalten zeige sich, wenn man einen schweren Körper von dem Maste eines ruhenden und eines schnell fahrenden Schiffes herabfallen lasse. In beiden Fällen treffe nämlich der Körper dieselbe Stelle am Fuße des Mastes. Sehr scharfsinnig hebt Galilei hervor, daß eine kleine Abweichung, die bei diesem Experiment eintreten könne, auf Rechnung des Luftwiderstandes gesetzt werden müsse. Die Luft sei nämlich in bezug auf das fahrende Schiff in Ruhe, während beim Fall von einem Turm sowohl der Turm als der Körper, als auch das Medium an der Erdumdrehung in völlig gleicher Weise teilnehmen. Das Medium könne unter diesen Umständen also auf die Bewegung des fallenden Körpers nicht störend einwirken, wie es bei dem bewegten Schiffe bei großer Fahrgeschwindigkeit möglich sei. Es ist also immer wieder der erweiterte Begriff des Beharrungsvermögens der bei Galilei bald mehr, bald minder deutlich zum Ausdruck kommt, ein Begriff, der seinen Gegnern fehlte und daher ihre Einwürfe gegen die koppernikanische Ansicht von ihrem Standpunkte aus als berechtigt erscheinen läßt.

---

1) Es geschieht das im zweiten „ ag“ des Dialogs.

Den zweiten Einwurf, daß in der Nähe des Äquator befindliche Körper bei einer Rotation der Erde abgeschleudert werden müßten, widerlegt Galilei gleichfalls. Er zeigt nämlich, daß die Schwungkraft in Anbetracht der verhältnismäßig geringen Rotationsgeschwindigkeit so klein sei, daß ihre Wirkung durch die Schwerkraft viele Male übertroffen werde“ [1]).

Nachdem er die ältere Weltanschauung abgelehnt und die von ihren Anhängern erhobenen Einwürfe beseitigt hat, bringt Galilei eine ausführliche Darstellung des koppernikanischen Systems. Für dieses System spreche mehr wie alles andere der Umstand, daß das Stehenbleiben, Rückwärts- und Vorwärtsgehen der Planeten aus der jährlichen Bewegung der Erde folge. Aufgabe der Astronomie sei es, Rechenschaft von den Erscheinungen zu geben, und das habe die geozentrische Lehre nicht vermocht, da sie zu den ungereimtesten Annahmen gegriffen habe, um die Stillstände und die Rückgänge der Planeten zu erklären.

Dem Einwurf, daß die von Koppernikus behauptete Ortsveränderung der Erde um ihren doppelten Abstand von der Sonne parallaktische Verschiebungen am Fixsternhimmel zur Folge haben müsse, wußte Galilei durch die Annahme zu begegnen [2]), daß die Fixsternsphäre wenigstens 10 000 Sonnenweiten vom Sonnensystem entfernt sei. Infolgedessen entziehe sich eine durch die Erdbewegung hervorgebrachte, äußerst geringfügige Verschiebung der Fixsterne unserer Beobachtung.

Die bisher erwähnten Anzeichen, welche für eine Bewegung der Erde sprechen, bezogen sich sämtlich auf Himmelserscheinungen. Irdische Vorgänge schienen für den Nachweis, ob die Erde sich dreht oder fest steht, nicht in Betracht zu kommen. Nur an dem Wasser, meinte Galilei, das infolge seiner Flüssigkeit gewissermaßen „unter eigener Botmäßigkeit“ stehe, ließe sich vielleicht ein Anzeichen finden, aus dem man entnehmen könne, ob die Erde sich dreht oder nicht. Ein solches Anzeichen erblickt Galilei in den Gezeiten. Und wenn auch erst Newton imstande war, eine befriedigende Theorie der Gezeiten zu geben, so verdienen doch Galileis scharfsinnige Betrachtungen über diesen Gegenstand unsere Beachtung [3]). Man muß sich vergegenwärtigen, daß Galilei die Gravitation der Weltkörper zur Erklärung der Gezeiten noch nicht verwerten konnte, weil man von einer zwischen

1) Dialog (Ausgabe von Strauß). S. 209.
2) Dialog (Strauß). S. 382.
3) Dialog. 4. Tag.

den Weltkörpern wirkenden Kraft wohl eine dunkle Ahnung, aber noch keine festgegründete Lehre besaß. Galilei setzte also noch keine anziehende Kraft des Mondes voraus, sondern erklärte die Gezeiten folgendermaßen: Ist der Erdball unbeweglich, so kann keine Ebbe und Flut stattfinden. Gibt man der Erde aber die Bewegungen, die Koppernikus ihr zuschreibt, so muß das Meer in einer den Beobachtungen entsprechenden Weise der Ebbe und Flut unterliegen. Und zwar geschieht dies nach Galilei, weil infolge der Zusammensetzung der jährlichen Bewegung mit der Drehung gewisse Teile der Erdoberfläche in ihrer absoluten Bewegung beschleunigt, andere dagegen verzögert werden. Nehmen wir mit Galilei an, in A befinde sich die Sonne. Der große Kreis sei die Erdbahn und der kleine die Erde selbst. Bewegt sich letztere von B nach C, während sie gleichzeitig in der Richtung D E F G rotiert, so erkennt man ohne weiteres, daß sich der Punkt D der Erdoberfläche, absolut genommen, am schnellsten bewegt, während derselbe Punkt, wenn er in F angelangt ist, seine geringste Geschwindigkeit besitzt, weil dort die tägliche Bewegung der jährlichen entgegensetzt und deshalb von ihr in Abzug zu bringen ist. Ähnlich wie nun in einem bewegten Wasserbecken, dessen Geschwindigkeit sich ändert, das Wasser auf der einen Seite steigen und auf der anderen fallen wird, ähnlich muß nach Galilei der erwähnte Einfluß ein Steigen und ein Fallen der Wassermasse im Meeresbecken hervorrufen. Daß dieser Schluß zutrifft, läßt sich zwar nicht in Ab-

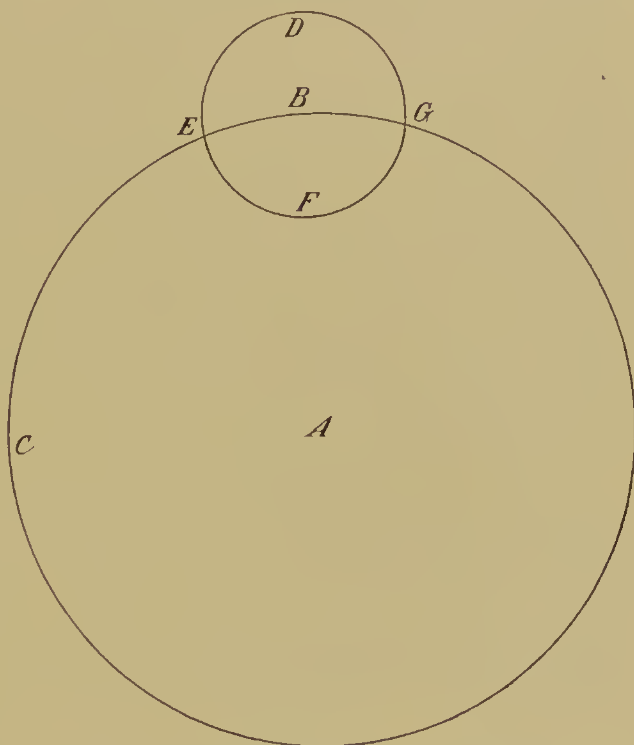


Abb. 5. Galileis Erklärung der Gezeiten [1]).

[1]) Dialog, Ausgabe von Strauß. S. 446,

rede stellen, und es ist nicht unmöglich, daß die erwähnte Verschiedenheit der Geschwindigkeiten in D und F (Abb. 5) von Einfluß ist. Da jedoch die Geschwindigkeit der jährlichen Bewegung viele Male größer ist als die Rotationsgeschwindigkeit eines in der Nähe des Äquators gelegenen Punktes, so kann der von Galilei behauptete Einfluß jedenfalls nur gering sein und höchstens Nebenerscheinungen veranlassen. Galilei unterschätzte nämlich jenes Verhältnis, da er den Durchmesser der Sonnenbahn etwa 20 mal zu klein annahm[1]).

Der „Dialog" ist ohne Zweifel eins der merkwürdigsten und in seinen Folgen wichtigsten Bücher, die je geschrieben wurden[2]). Es nimmt für seine Zeit dieselbe Bedeutung ein, welche die „Kreisbewegungen" des Koppernikus für das 15. Jahrhundert und Newtons „Prinzipien" für das auf Galilei folgende Zeitalter besitzen. Diese drei Werke bezeichnen Fortschritte in der Entwicklung der Weltanschauung, d. h. des Weltbildes, der Vorstellungen vom Kosmos, wie sie seitdem kaum wieder gemacht wurden. Wir haben uns deshalb mit dem Inhalt des Dialogs etwas eingehender befaßt und wollen auch seine Geschichte berücksichtigen. Wenn je von einem Buche, so gilt nämlich von diesem das bekannte Wort: Habent sua fata libelli. Auch hat wohl selten ein Werk in solchem Maße das Schicksal seines Verfassers bestimmt wie es der „Dialog" getan.

Mit dem Verbot vom Jahre 1616 suchte sich Galilei dadurch abzufinden, daß er die Lehre des Koppernikus nicht als eigene Meinung vortrug, sondern sie einer der sich unterredenden Personen, dem Salviati, in den Mund legte, während das ptolemäische System von Simplicio verteidigt wurde. Jeder Einsichtige konnte indessen leicht erkennen, daß mit Salviati der Verfasser selbst gemeint sei.

Trotzdem erteilte die römische Zensurbehörde, nachdem auf ihren Wunsch einige Änderungen vorgenommen waren, die Erlaubnis zum Druck des „Dialogs". Das Buch erschien 1632. Es erregte großes Aufsehen, rief aber auch die Tätigkeit der Feinde und Neider Galileis von neuem wach. Insbesondere war es der Jesuit Scheiner, derselbe, mit dem Galilei einen Prioritätsstreit hinsichtlich der Entdeckung der Sonnenflecken ausgefochten

---

1) Gleich 1200 Erdhalbmesser statt 23000.

2) Es ist daher mit Freuden zu begrüßen, daß es durch eine mit den nötigen Erläuterungen versehene Übersetzung dem deutschen Leser zugänglicher gemacht wurde. Sie erschien 1891 bei G. B. Teubner: E. Strauß, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme von Galileo Galilei.

hatte[1]), der gegen ihn mit allen Mitteln zu Felde zoge und die Angelegenheit vor die Inquisition zu bringen suchte. Die freundliche Gesinnung, die Urban VIII. bisher gegen Galilei bewiesen, verstand man in das Gegenteil zu verkehren. Man redete dem Papste nämlich ein, in Simplicio, dem ungeschickten Verteidiger der ptolemäischen Ansicht, habe Galilei ihn zu karrikieren gesucht.

Es würde hier zu weit führen, wenn wir uns mit den Einzelheiten des gegen Galilei in Szene gesetzten Inquisitionsverfahrens näher befassen wollten[2]). Der siebzigjährige, durch Krankheit gebeugte Greis, dem sein Vaterland unsterblichen Ruhm verdankt, wurde gezwungen, nach Rom zu reisen. Dort mußte das weitere Verfahren ihn bald überzeugen, daß es hier nur zwei Wege gab. Entweder er teilte das Schicksal Giordano Brunos, der 1600 in Rom den Scheiterhaufen bestiegen hatte, oder er widerrief den Inhalt seines ganzen bisherigen Lebens, indem er nach der Forderung der Inquisition die Lehre des Koppernikus als irrtümlich abschwor und verfluchte. Galilei wählte das letztere. Er beugte sich dem Zwange. Auch mochte ihn die Überzeugung leiten, daß sein Märtyrertod ebensowenig der Wissenschaft wie der Kirche zum Vorteil gereichen könne. Die Abschwörungsformel, die er nach Androhung der Tortur, unter schmachvollen Formen — er war nur mit einem Hemde bekleidet — aussprechen mußte, bildet das unwürdigste Gegenstück zu den schönen Worten, mit denen er selbst in dem oben mitgeteilten Briefe Duldsamkeit gepredigt. Sie lautet[3]) nach einigen Kürzungen: „Ich beuge meine Knie vor den ehrwürdigen General-Inquisitoren, berühre das heilige Evangelium und versichere, daß ich glaube und in Zukunft alles glauben werde, was die Kirche für wahr erkennt und lehrt.

Mir war von der heiligen Inquisition befohlen, daß ich die falsche Lehre von der Bewegung der Erde und dem Stillstand der Sonne weder glauben noch lehren dürfe, weil sie der heiligen Schrift zuwider sei. Trotzdem habe ich ein Buch geschrieben

---

1) Siehe S. 13.

2) Es sei verwiesen auf Gebler, Galileo Galilei und die Römische Kurie. Nach authentischen Quellen dargestellt. Stuttgart 1876—1880, sowie auf Wohlwill, der Inquisitionsprozeß des Galileo Galilei. Berlin 1870. Eine neuere Biographie veröffentlichte Wohlwill unter dem Titel: Galilei und sein Kampf für die Koppernikanische Lehre. I. Band. 1909. Hamburg. L. Voss.

3) Riccioli, Almagestum novum, lib. IX.

und es sogar drucken lassen, in welchem ich diese verdammte Lehre vortrage und mit großer Stärke Gründe zu ihren Gunsten vorbringe. Ich bin deswegen der Ketzerei für verdächtig erklärt worden.

Um nun jedem katholischen Christen den mit Recht gegen mich gefaßten Verdacht zu benehmen, schwöre ich ab und verfluche ich die erwähnten Irrtümer und Ketzereien und überhaupt jeden anderen Irrtum und jede Meinung, welche gegen die Lehre der Kirche sind. Zugleich schwöre ich, in Zukunft nie etwas mündlich oder schriftlich zu äußern, wegen dessen man mich in einem gleichen Verdachte haben könnte, sondern ich will, wenn ich irgendwo Ketzerei finde oder vermute, es gleich dem heiligen Gericht anzeigen.“ Der ganze berechnete, fanatische Haß der kirchlichen Machthaber geht aus dem letzten Satze hervor, durch den Galilei auch noch zum Angeber gegen jede weitere Regung der freien Forschung gemacht werden sollte.

Das Galilei zugeschriebene Wort: „Und sie bewegt sich doch“ ist gewiß nicht bei diesem Anlaß gesprochen worden[1]). Daß es jedoch im Grunde seines Herzens erklungen, wer möchte daran zweifeln?

Der gegen Galilei geführte Inquisitionsprozeß ist nicht nur kulturgeschichtlich eine der merkwürdigsten Begebenheiten. Er muß auch späteren Zeiten immer wieder als warnendes Beispiel hingestellt werden, da er mit erschreckender Deutlichkeit zeigt, wohin Unduldsamkeit und religiöser Fanatismus in ihren letzten Konsequenzen geführt haben und immer wieder führen können, wenn nicht durch die stetig wachsende Einsicht weiterer Kreise der trüben Flut ein starker Damm entgegengesetzt wird[2]).

Die Jahre, welche Galilei nach diesen traurigen Ereignissen noch gelebt hat, waren voll von Bitternissen. Die Inquisition wies ihm ein Landhaus bei Florenz als Wohnsitz an, erstreckte jedoch ihre Überwachung auf seine privatesten Angelegenheiten, so daß er, wenn auch nicht dem Namen nach, so doch tatsächlich, ihr Gefangener blieb. In Galileis Wunsch, nach Florenz übersiedeln zu dürfen, willigte man erst, nachdem sein Augenleiden zu völliger Erblindung geführt hatte.

---

1) Siehe auch G. Bertholds in der Zeitschrift für Geschichte der Mathematik (1897) erschienene Notiz: Über den angeblichen Ausspruch Galileis „Eppur si muove“.

2) Eine ausführliche Darstellung bietet das Werk von E. Wohlwill, Galilei und sein Kampf für die koppernikanische Lehre. 1. Bd. Hamburg 1909.

Dennoch war die Schaffenskraft Galileis, welche in steigendem Maße, trotz seiner Niederlage in dem Inquisitionsprozeß, die Bewunderung der Zeitgenossen errang, keineswegs gelähmt. Zwar beschäftigten ihn nach seiner Verurteilung nur noch solche astronomischen Probleme, bei denen keine Erneuerung des Streites mit der römischen Kirche zu befürchten war. So fuhr er ungeachtet seines beginnenden Augenleidens mit teleskopischen Untersuchungen fort und entdeckte die Libration des Mondes. Seine Mitteilung über diese Entdeckung datiert vom 20. Februar 1637. Unter Libration versteht man kleine Schwankungen des Mondes in seiner Stellung zur Erde, welche bewirken, daß, vom Erdmittelpunkte aus betrachtet, nicht stets derselbe Punkt der Mondoberfläche im Zentrum der Mondscheibe gesehen wird. Man unterscheidet Libration in Länge (in der Ebene des Mondäquators) und Libration in Breite (senkrecht zur Ebene des Mondäquators). Aber auch abgesehen von derartigen Schwankungen wird die Mondscheibe, von verschiedenen Punkten der Erdoberfläche aus beobachtet oder für denselben Ort zu verschiedenen Tageszeiten, nicht genau dieselbe sein. Es ist dies eine nur scheinbare, parallaktisch genannte Libration. Galilei wies auf letztere hin und entdeckte die Libration in Breite. Die Libration in Länge bemerkte erst Hevel, der bedeutendste Selenograph der neueren Zeit [1]).

Auch das Problem der Längenbestimmung, an dem alle schiffahrttreibenden Nationen das größte Interesse hatten, beschäftigte Galilei von neuem. Sein Lieblingsplan, die Verfinsterungen der Jupitermonde zu diesem Zwecke zu verwerten, wurde, nachdem er fast zwei Jahrzehnte geruht hatte, wieder aufgenommen [2]). Im Grunde war es derselbe Gedanke, der schon die Alten bei ihren Längenbestimmungen leitete. Periodisch wiederkehrende Himmelsereignisse, die von einem großen Teile der Erde gesehen werden, bieten in beiden Fällen einen Anhalt zur Ermittelung des Zeitunterschiedes für den in Betracht kommenden und einen seiner geographischen Länge nach bekannten Ort. Im Altertum hatte man sich hierzu des Eintritts der Mondfinsternisse bedient. Doch ist ein solches Ereignis so selten, daß es für die Schiffahrt nicht in Betracht kommen kann. Die Umlaufszeiten der Jupitermonde sind dagegen von so kurzer Dauer, daß fast in

1) Hevels Selenographic, Danzig 1647.

2) Er hatte sich deswegen 1616 mit Philipp III. von Spanien vergeblich in Verbindung gesetzt (S. Jagemann, Geschichte des Lebens und der Schriften des G. Galilei. 1783. S. 146).

jeder Nacht einer derselben durch den Zentralkörper verfinstert wird. Ist nun, schloß Galilei, die Umlaufsbewegung dieser Monde genau bekannt und in Tabellen für den täglichen Gebrauch der Seefahrer niedergelegt, so stellt das System des Jupiters sozusagen eine im Weltraum schwebende, der Beobachtung durch gute Teleskope zugängliche Uhr dar, aus deren Vergleich mit einer nach der Sonne gestellten Uhr der Längenunterschied zwischen dem Ort, auf welchen die Tabellen sich beziehen, und demjenigen, an dem sich das Schiff befindet, gefunden werden kann. Galilei wußte für seine Methode die vereinigten Staaten von Holland zu interessieren und stellte ihnen Ephemeriden der Jupitertrabanten, sowie hinlänglich genau gehende Uhren in Aussicht. Zunehmendes körperliches Leiden brachte jedoch seine Bemühungen, die auch ohnehin schwerlich zu einem Gelingen geführt haben würden, zum Stillstande. Erst im 18. Jahrhundert waren Theorie und Praxis weit genug fortgeschritten, um die Mittel zur Lösung des so überaus wichtigen und schwierigen Problems an die Hand zu geben.

Über das weitere Schicksal des Dialogs, des astronomischen Hauptwerks Galileis, sei noch bemerkt, daß es mit anderen das koppernikanische Weltsystem betreffenden Schriften bis ins 19. Jahrhundert auf dem Index der von der Kirche verbotenen Bücher blieb. Vergebens bemühte sich um die Mitte des 18. Jahrhunderts der große französische Astronom Lalande, die Streichung dieser Schriften aus dem Index durchzusetzen. Erst 1822 entschied das Kardinalskollegium, daß fortan die koppernikanische Lehre in den katholischen Ländern unbeanstandet verkündet werden dürfe. „So endete nach zwei Jahrhunderten dieser denkwürdige Streit der Kirche gegen den vorwärts schreitenden Menschengeist mit einer kläglichen Niederlage der ersteren [1]).

Wir gelangen jetzt zu Galileis Arbeiten auf dem Gebiete der Mechanik. Diese Arbeiten waren in solchem Maße grundlegend, daß Galilei in seinem Hauptwerk über diesen Gegenstand, den „Unterredungen“, mit Recht von neuen Wissenszweigen sprechen durfte. Die Zeitgenossen zwar, soweit sie nicht vom Fanatismus geblendet waren, bewunderten vorwiegend seine Leistungen auf astronomischem Gebiete. Die Nachwelt hat jedoch erkannt, daß die Begründung des dynamischen Teiles der Mechanik eine Geistestat von weit höherem Range und weit größerer Bedeutung für den Fortschritt der menschlichen Erkenntnis war, als jene Be-

[1]) Heller, Geschichte der Physik, I. 366.

obachtungen, von denen, ohne das Verdienst Galileis zu schmälern, gesagt werden kann, daß sie jedes andere, mit einem guten Fernrohre bewaffnete Auge gleichfalls gemacht haben würde. Die „Unterredungen" dagegen bezeichnen den bedeutendsten Fortschritt der Mechanik seit Archimedes.

Mit mechanischen Problemen hatte sich Galilei, anknüpfend an Archimedes und im Kampfe gegen die irrigen Ansichten der Peripatetiker, während seiner ganzen Laufbahn beschäftigt. Nach seiner Verurteilung unternahm er es, die Ergebnisse seiner Forschungen zu dem genannten Hauptwerk[1]) zusammenzufassen. Bei dieser Arbeit hatte er wenigstens keine Belästigung von seiten kurzsichtiger Gegner zu befürchten.

Das Werk ist wie der „Dialog" in Gesprächsform abgefaßt. Simplicio verficht die Ansichten des Aristoteles. Sagredo und insbesondere Salviati entwickeln dagegen die Lehren Galileis.

Die neuen Prinzipien, welche Galilei in die Naturwissenschaft einführte, betreffen vor allem die Dynamik oder die Lehre von der Bewegung der Körper, deren Ansätze wir bereits bei Lionardo da Vinci und einigen andern Forschern vorfanden[2]). Durch seine Untersuchung des Falles, der Wurf- und der Pendelbewegung zeigte Galilei, wie durch die Vereinigung von messender Beobachtung mit dem mathematischen Beweisverfahren an die Stelle unklarer, schwankender Begriffe wissenschaftliche Erkenntnis gesetzt werden kann. Er schuf so die Methode, die auf naturwissenschaftlichem Gebiete allein zur Entdeckung der Wahrheit führt und der im weiteren Verfolg alle bewundernswerten Fortschritte der neueren Zeit zu danken sind.

„Der oberflächlichen Beobachtung ist es zwar nicht entgangen, daß die Geschwindigkeit frei fallender Körper mit der Fallzeit zunimmt. In welchem Maße aber die Beschleunigung stattfindet, ist bisher nicht ausgesprochen worden. Denn soviel ich weiß, hat niemand bewiesen, daß die vom fallenden Körper in gleichen Zeiten zurückgelegten Strecken sich zueinander wie die ungeraden Zahlen verhalten." Mit diesen Worten leitet Galilei den

---

[1]) Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und herausgegeben von A. v. Oettingen. Leipzig. Verlag von Wilhelm Engelmann 1890 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 11, 24 u. 25). Der Originaltitel lautet: Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove szienze. Leyden 1638.

[2]) S. Bd. I. S. 337.

dritten Abschnitt[1]) seiner „Unterredungen“ ein. „Man hat beobachtet“, fährt er fort, „daß die Wurfgeschosse eine gewisse Kurve beschreiben, daß letztere aber eine Parabel ist, hat niemand gelehrt. Daß aber dieses sich so verhält und noch vieles andere nicht minder Wissenswerte, soll von mir bewiesen werden. Zu dem, was noch zu tun übrig bleibt, wird die Bahn geebnet, nämlich zur Errichtung einer sehr weiten, außerordentlich wichtigen Wissenschaft, deren Anfangsgründe die vorliegende Arbeit bieten soll, in deren tiefere Geheimnisse einzudringen aber solchen Geistern vorbehalten bleibt, die mir überlegen sind.“ In diesen Worten sprechen sich zwei schöne Eigenschaften Galileis aus, Wertschätzung eigener Errungenschaften gepaart mit wahrer Bescheidenheit.

Wir wollen jetzt die wesentlichsten Punkte der „Unterredungen“ einer kurzen Betrachtung unterziehen. Die Peripatetiker hatten eine Reihe von Naturerscheinungen, wie das Saugen, das Aneinanderhaften glatter Platten, das Aufsteigen von Flüssigkeiten in der Pumpe usw., auf ein Widerstreben der Natur, einen leeren Raum oder ein Vakuum zuzulassen, zurückgeführt. In Ermangelung eines mechanischen Prinzips dichtete man auf solche Weise der Natur ein physisches Vermögen an. In dieser Vakuumtheorie bleibt Galilei noch befangen; aus ihr sucht er z. B. die Kohäsion zu erklären.

Die Kohäsion ist Galileis Ansicht nach auf zwei Ursachen zurückzuführen. Die eine ist ihm das Widerstreben der Natur, einen leeren Raum zuzulassen. Andererseits müsse ein Bindemittel angenommen werden, welches die Teilchen der Körper fest miteinander vereinige. Um dies zu beweisen, sagt Galilei, nehme man zwei völlig glatt polierte Marmorplatten. Legt man die eine auf die andere, so lassen sie sich leicht gegeneinander verschieben, offenbar ein Beweis, daß kein Bindemittel sie vereinigt. Gegen jede Trennung aber tritt ein Widerstand auf, so daß die obere Platte die untere tragen kann. Solch ein Widerstand, der so fühlbar zwischen den Platten sich zeige, sei ohne Zweifel auch zwischen den Teilen eines festen Körpers vorhanden und zum Teil wenigstens eine Ursache ihres Zusammenhaltens.

Ein wesentlicher Fortschritt den bloßen Spekulationen seiner Vorgänger gegenüber ist es, daß Galilei überall das Experiment

---

1) Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen, Dritter und vierter Tag. Ostwalds Klassiker Nr. 24. S. 3.

anwendet und z. B. auch die Größe desjenigen Widerstandes, den das Vakuum bietet, zu bestimmen sucht. Dies geschieht, indem ein Kolben aus einem mit Wasser gefüllten, die Öffnung nach unten kehrenden Zylinder herausgezogen und die Größe des hierzu erforderlichen Gewichtes ermittelt wird (S. Abb. 6). Ferner kennt Galilei die Erscheinung, daß das Wasser mittelst Pumpen nur auf eine Höhe von 18 italienischen Ellen gehoben werden kann. Tatsächlich wird in beiden Fällen bekanntlich die Größe des Luftdrucks gemessen. Durch Versuche gewonnene Ergebnisse besitzen also immer Wert, gleichgültig, ob die daran geknüpfte Theorie sie richtig deutet oder nicht.

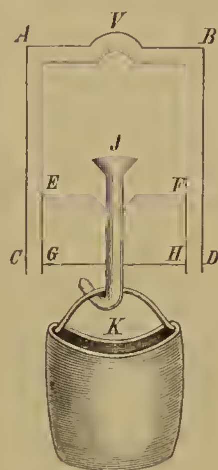


Abb. 6. Galileis Versuch, den Widerstand des Vakuums zu messen [1]).

Daß Galilei das Steigen von Flüssigkeiten und verwandte Erscheinungen nicht auf den Luftdruck zurückführte, ist um so verwunderlicher, als ihm die Tatsache, daß die Luft Gewicht besitzt, wohl bekannt war. Aristoteles hatte der Luft und dem Feuer absolute Leichtigkeit, d. h. das Bestreben, sich in gerader Linie vom Mittelpunkte der Erde fortzubewegen, zugeschrieben. Wäre diese Annahme richtig, so würde, wie Galilei[1]) anführt, daraus folgen, daß beim Verdichten der Luft die Leichtigkeit und damit das Streben nach oben zunimmt. Der Versuch lehrte indes das Gegenteil. Galilei nahm einen Glaskolben und preßte mittelst einer Spritze Luft hinein. Dann wurde der Ballon auf einer genauen Wage ins Gleichgewicht gebracht. Öffnete man, ihn jetzt, so trat die zusammengepreßte Luft heraus, und der Ballon wurde merklich leichter, so daß von der Tara etwas fortgenommen werden mußte, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. „Unzweifelhaft ist das Gewicht des Fortgenommenen“, sagt Galilei, „genau gleich dem der Luft, die ge waltsam hineingepreßt war“ [2]).

Hatte man einmal die Luft als einen schweren Körper erkannt, so lag die Frage nahe, wie groß ihr Gewicht im Verhältnis zu demjenigen anderer Stoffe, z. B. des Wassers, sei. Auch diese Aufgabe, das spezifische Gewicht der Luft zu bestimmen, löste Galilei durch einen höchst sinnreichen Versuch[3]). Er preßte Wasser in

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 11. S. 70.
[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 11 S. 71.
[3]) Ostwalds Klassiker Nr. 11 S. 72.
Daß die Luft schwer sei, hat schon das Altertum angenommen (Aristo-

einen mit Luft gefüllten Kolben, bis er zu dreiviertel seines Inhalts mit Wasser angefüllt war, ohne daß die Luft entweichen konnte. Das Gewicht dieses Kolbens mit seinem Inhalt wurde bestimmt. Darauf wurde eine die komprimierte Luft abschließende Haut durchstochen, um diejenige Luftmenge, welche vorher drei Viertel des Kolbens eingenommen hatte, entweichen zu lassen. Galilei wog jetzt wieder und fand einen dem Gewichte jener Luftmenge entsprechenden Unterschied. War diese Bestimmung bei den damaligen Hilfsmitteln und den der Methode anhaftenden Unvollkommenheiten auch keine genaue, so ergab sich doch, daß die Luft sehr viel leichter als das Wasser ist[1]).

Größeres als in der Physik der gasförmigen Körper, deren experimenteller Ausbau insbesondere auf deutschem Boden durch Otto von Guericke erfolgte, hat Galilei dadurch geleistet, daß er den Begriff der gleichmäßig beschleunigten Bewegung erörterte und durch Versuche nachwies, daß der Fall über die schiefe Ebene eine derartige Bewegung sei.

Zur genaueren Untersuchung der Fallbewegung wurde Galilei durch die Behauptung des Aristoteles geführt, daß verschiedene Körper in ein- und demselben Mittel mit verschiedener Geschwindigkeit sich bewegen sollten, und zwar stets proportional den Gewichten. Danach müßten z. B. zwei Steine, deren Gewichte sich wie 1 : 10 verhalten, wenn man sie gleichzeitig 100 Ellen hoch herabfallen läßt, so verschieden in ihrer Bewegung sein, daß bei der Ankunft des größeren der kleinere erst 10 Ellen zurückgelegt haben würde. Galilei bezweifelte dies. Man darf jedoch nicht annehmen, daß sich nicht schon früher Zweifel geregt hätten. Es fehlte selbst nicht an älteren Versuchen zur Nachprüfung der aristotelischen Lehre[2]). Ja, Philoponos, der der alexandrinische Kommentator des Aristoteles, bemerkte schon tausend Jahre vor Galilei, daß jene Lehre durch Versuche widerlegt werde. Philoponos tut dies mit folgenden Worten[3]): „Nach Aristoteles

teles, Heron). Auch Lionardo da Vinci und Cardano schrieben der Luft Gewicht zu. Cardano stellte das Problem, „das Verhältnis der Dichte des Wassers zu derjenigen der Luft durch Wägung zu finden.“ Er hielt die Luft für 50mal so leicht wie Wasser.

1) Galilei gibt nämlich an (Ostwalds Klassiker Nr. 11, Seite 72), sie sei gegen 400mal leichter, während sie tatsächlich 773mal so leicht ist.

2) Rafaelo Caverni, Storia del metodo sperimentale in Italia. Tomo IV. p. 269 u. f. Firenze 1895.

3) Commentaria in Aristotelem Graeca, edita consilio et auctoritate Academiae literarum regiae Borussicae Vol. XVII. Philoponi in physicorum libros quinque posteriores. Ed. Hieronymus Vitelli, Berolini 1888, p. 683.

müssen, wenn das Medium, durch welches die Bewegung stattfindet, dasselbe ist, die Fallzeiten sich wie die Gewichte der bewegten Körper verhalten. Das ist aber, wie der Augenschein besser als jeder logische Beweis dartut, gänzlich falsch. Läßt man nämlich zwei an Schwere sehr verschiedene Körper gleichzeitig aus derselben Höhe herabfallen, so wird man sehen, daß die Fallzeiten sich nicht wie die Gewichte verhalten, sondern daß nur eine sehr geringe Verschiedenheit in bezug auf die Zeiten stattfindet".

Um eine Entscheidung herbeizuführen, ließ Galilei, wie Viviani berichtet hat, vom schiefen Turm zu Pisa, der sich für Fallversuche trefflich eignete, eine halbpfündige Kugel und eine hundertpfündige Bombe herabfallen, wobei letztere nur um wenige Zoll voraneilte[1]).

Die Verschiedenheiten in der Geschwindigkeit frei fallender Körper führt Galilei lediglich auf den Widerstand der Luft zurück. Wenn man diesen Widerstand aufheben, mit anderen Worten einen luftleeren Raum herstellen könnte, „so würden alle Körper ganz gleich schnell fallen".

Für Galilei blieb ein derartiger Nachweis dieses Satzes, für den er nur einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit annehmen konnte, eine wissenschaftliche Utopie. Erst nach Erfindung der Luftpumpe wurde dieser Nachweis zu einem Versuch, der in jedem elementaren Physikunterricht angestellt wird.

Wir wenden uns jetzt Galileis Versuchen und Betrachtungen über das Gesetz der Fallbewegung zu. Sie sind von höchster Wichtigkeit, weil sie den Ausgangspunkt für die Entwicklung der Dynamik bilden. Galilei behandelte seine Aufgabe zuerst rein phoronomisch, d. h. als Problem der Bewegungslehre. Er war es, der zuerst der gleichförmigen die gleichförmig beschleunigte Bewegung gegenüberstellte und den Begriff der gleichförmigen Beschleunigung schuf[2]). Gleichförmig beschleunigt nennt er diejenige

[1]) Viviani in seinem Bericht über das Leben Galileis, der 1654 geschrieben, aber erst 1717 veröffentlicht wurde. Galilei selbst hat diese Versuche in seinen Schriften nicht erwähnt, daraus glaubt Wohlwill schließen zu dürfen, daß es sich hier nur um eine der in der Geschichte der Wissenschaften so häufigen Legenden handelt (Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften IV, 2. 1905). Daß übrigens Galilei die Angaben des Aristoteles durch Fallversuche widerlegt hat, geht aus seiner in den „Unterredungen" gegebenen Darstellung zur Genüge hervor. Ob diese Versuche vom Turme zu Pisa oder von einem anderen hohen Gebäude vorgenommen wurden, ist im Grunde von geringer Bedeutung.

[2]) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Leipzig 1883. S. 133.

Bewegung, bei der von Anfang an in gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeitszunahmen erfolgen.

Daß sich die Geschwindigkeit fallender Körper stetig vergrößert, konnte der frühesten Beobachtung nicht entgehen. Indessen von dieser Beobachtung bis zur Auffindung von Gesetz und Ursache war ein weiter Weg. Die Aristoteliker erblickten die Ursache des Fallens in einer verborgenen Qualität, in einem dem Körper innewohnenden Streben nach „seinem Orte“. Die auf solche Weise hervorgerufene Bewegung sollte schneller werden, indem die Luft, die sich über dem fallenden Körper stets wieder zusammenschließt, dabei fortgesetzt einen neuen Antrieb ausübe. Im vollsten Gegensatz dazu behauptete Galilei, daß die Luft kein Mittel zur Beschleunigung sei, sondern vielmehr durch ihren Widerstand die Fallbewegung verzögere. Die experimentelle Probe konnte Galilei nicht machen, da ihm die Luftpumpe noch nicht zur Verfügung stand. War die Ansicht der älteren Physiker richtig, so hätten die Körper nach Fortnahme der Luft sich gleichförmig bewegen müssen, während doch, wie Galilei voraussah und spätere Versuche bewiesen, die Körper im luftleeren Raum erst recht deutlich die gleichförmig beschleunigte Bewegung erkennen lassen.

Sehr ausführlich sucht Galilei darzutun, daß der fallende Körper nach Verlauf des ersten, sehr kleinen Zeitteilchens eine von Null kaum verschiedene Geschwindigkeit besitzt. Daß der Körper seine Bewegung „mit unendlich großer Langsamkeit“ beginnt, schließt Galilei auch aus dem Verhalten beim senkrechten Wurf. Man könne nicht zweifeln, daß der Zuwachs an Geschwindigkeit beim Fall in derselben Ordnung vor sich gehe, wie die Abnahme beim senkrechten Wurf. Bei letzterem werde die Geschwindigkeit allmählich ganz vernichtet. Bevor der Stein zur Ruhe komme, müsse er daher alle Grade der Langsamkeit durchgemacht haben.

Um zu einer richtigen Vorstellung von der Fallbewegung und von der Wurfbewegung zu gelangen, bedurfte es einer Erweiterung des Trägheitsgesetzes. Daß ein ruhender Körper im Zustande der Ruhe beharrt und nur durch die Wirkung einer Kraft in den Zustand der Bewegung übergeht, war ein Satz, den Galilei nicht erst zu entdecken brauchte. Dieser Satz war stets, stillschweigend oder ausgesprochen, die Voraussetzung mechanischer Erörterungen gewesen. Wohl aber blieb es Galilei vorbehalten, irrtümliche und unklare Vorstellungen, die man sich über den Zustand der Bewegung gebildet hatte, zu berichtigen oder zu klären. Vor ihm herrschte die Meinung, jede Bewegung müsse auch ohne äußere Hindernisse

endlich aufhören, wenn sie nicht durch eine Kraft unterhalten werde. Galilei dagegen erweiterte das Trägheitsgesetz dahin, daß ein sich bewegender Körper weder seine Geschwindigkeit noch seine Richtung ändert, wenn nicht eine Kraft auf ihn einwirkt. Wirkt aber eine Kraft, so ist, wie Galilei gleichfalls erkannte, die Größe ihrer Wirkung die gleiche, einerlei ob der Körper ruht oder sich bewegt. Da nun beim freien Fall eine Kraft ununterbrochen wirkt, so werden sich ihre Wirkungen stetig summieren, da jede einmal hervorgerufene Wirkung dem Trägheitsgesetz zufolge erhalten bleibt. Diese Summation oder Integration bewirkt Galilei auf folgende Weise. Es stellt A B die Zeit t vor, in welcher ein Körper eine bestimmte Strecke, mit der Ruhelage beginnend, mit gleichförmig beschleunigter Bewegung zurücklegt. Die Gesamtzeit teile man in Zeitteilchen und trage die einem jeden entsprechenden Geschwindigkeitsbeträge senkrecht auf A B ab. E B ist die Endgeschwindigkeit v. Verbindet man dann sämtliche Endpunkte der senkrecht zu A B errichteten Strecken, so erhält man die Linie A E, die mit E B (v) und A B (t) ein Dreieck bildet. Errichtet man dann über F B = $\frac{1}{2}$ E B = $\frac{1}{2}$ v ein Parallelogramm, so erhält man zwei flächengleiche Figuren A B E und A B F G. Beide sind, wie aus der Größe der Stücke A B, E B und F B folgt, gleich $\frac{v \cdot t}{2}$. Innerhalb der Zeit t legt somit ein Körper bei gleichförmig beschleunigter Bewegung den gleichen Weg zurück, als ob er sich während der Zeit t mit der sich stets gleichbleibenden Geschwindigkeit $\frac{v}{2}$ bewegt hätte. „Denn," sagt Galilei, „was bei der beschleunigten Bewegung während der ersten Zeithälfte an Bewegung fehlt, entsprechend den Parallelen im kleinen Dreieck A G I, wird während der zweiten Hälfte der Bewegung ersetzt durch den Überschuß, den die Parallelen in dem A G I flächengleichen kleinen Dreieck E F I vorstellen".

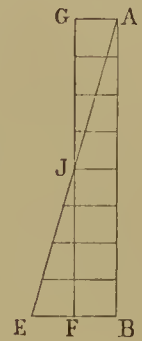


Abb. 7. Galilei ermittelt das Gesetz der gleichförmig beschleunigten Bewegung.

Aus der auf solche Weise gewonnenen Grundvorstellung, nach welcher der Weg bei einer gleichförmig beschleunigten Bewegung gleich dem Produkt aus der Zeit und der halben Endgeschwindigkeit ist ($s = \frac{v}{2} \cdot t$), folgen nun die übrigen Fallgesetze rein mathematisch. So bewies denn Galilei im Anschluß an dieses Grund-

gesetz den Satz, daß, wenn ein Körper von der Ruhelage aus gleichförmig beschleunigt fällt, die in bestimmten Zeiten zurückgelegten Strecken sich wie die Quadrate der Zeiten verhalten. Wird nämlich $v = gt$, so ist $s = \frac{g}{2} . t^2$. Daraus schloß Galilei weiter, daß sich die Fallstrecken, die in gleichen Zeiten zurückgelegt werden, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 verhalten müssen. Dies ergibt sich, wenn wir die Unterschiede der Fallräume für $t = 1, 2, 3, 4 \ldots$ bilden.

Die Größe der Beschleunigung für den freien Fall zu bestimmen, gelang Galilei noch nicht. So gibt er an, eine eiserne Kugel sei nach wiederholt angestellten Versuchen aus einer Höhe von 100 Ellen, das sind etwa 60 m, in 5 Sekunden herabgefallen [1]. In Wahrheit würde der Fallraum für diese Zeit aber mehr als das Doppelte (122 m) betragen. Galilei konnte zwar den Einfluß des Luftwiderstandes noch nicht in Rechnung ziehen, nichtsdestoweniger ist der Fehler, den er beging, auffallend groß, da sich aus seinen Versuchen für die Beschleunigung der Wert von nur 5 m ergab. Erst Huygens stellte fest, daß der Geschwindigkeitszuwachs 10 m beträgt, so daß ein Körper nach Ablauf der 1., 2., 3. . . . . Sekunde eine Geschwindigkeit von 10, 20, 30 . . . . Metern besitzt. Solche Größen ließen sich durch unmittelbare Beobachtung nicht gut messen. Galilei suchte deshalb nach einem Mittel, die Fallgeschwindigkeit zu vermindern. Als solches schien ihm die schiefe Ebene besonders geeignet. Es sei bekannt, so führt er aus, daß die Geschwindigkeiten ein- und desselben Körpers bei verschiedenen Neigungen der Ebene verschieden groß seien. Den größten Wert habe die Geschwindigkeit bei senkrechter Richtung. Die Geschwindigkeit sei um so geringer, je mehr die Ebene vom Lot abweiche. Es zeige sich also, daß der Impuls, die Energie oder die Tendenz zum Fall [2] durch die Ebene, auf welche der Körper sich stützt, vermindert werde. Galilei bestimmt auch die Abhängigkeit der Impulse von den Neigungswinkeln und zeigt, daß der Impuls, den der Körper beim freien Fall erhält, und der Impuls, der längs der schiefen Ebene wirkt (der in ihrer Richtung wirkenden Seitenkraft oder Komponente, würden wir heute sagen), sich wie die Länge zur Höhe der schiefen Ebene verhalten [3].

---

1) Dialog, Ausgabe von Strauß. S. 237.

2) Galilei braucht hierfür die Ausdrücke impeto, energia und momento del descendere.

3) Ostwalds Klassiker Nr. 24. S. 30.

Die schiefe Ebene war somit, weil dem geringeren Impulse auch ein geringerer Geschwindigkeitszuwachs entspricht, vortrefflich geeignet, die Deduktionen, zu welchen Galilei über den Verlauf einer gleichförmig beschleunigten Bewegung gekommen war, experimentell auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Denn, sagt er, die Prinzipien sind durch Versuche zu erhärten, und diese bilden die Grundlage für den ganzen späteren Aufbau.

Über seine Versuche mit der schiefen Ebene gibt uns Galilei folgenden Bericht[1]: In einem Brett von 12 Ellen Länge wurde eine Rinne von einem halben Zoll Breite hergestellt. Sie wurde gerade gezogen und mit sehr glattem Pergament ausgekleidet. Das Brett wurde darauf an dem einen Ende gehoben, bald eine, bald zwei Ellen hoch. Sodann ließ Galilei eine glatt polierte Messingkugel durch die Rinne laufen und bestimmte die Fallzeit für die ganze Länge der Rinne. Ließ er dagegen die Kugel nur durch $^1/_4$ der Rinne laufen, so erforderte dies genau die halbe Zeit. Die Strecken verhielten sich somit wie 1 : 4, wenn die Fallzeiten in dem Verhältnis 1 : 2 standen; allgemeiner ausgedrückt: Die Strecken verhielten sich wie die Quadrate der Zeiten. Daß dieses Gesetz nicht nur in dem gewählten Beispiel seine Richtigkeit hat, sondern eine für alle Fälle zutreffende Regel ist, wurde durch hundertfache Wiederholung unter jedesmaliger Abänderung der Strecke und des Neigungswinkels dargetan.

Zur genauen Bestimmung der Fallzeit diente folgende Vorrichtung. Ein größeres Gefäß war mit Wasser gefüllt und besaß eine enge Öffnung im Boden, durch welche sich ein feiner Strahl ergoß. Dieser wurde während jeder Beobachtungszeit in ein kleineres Gefäß geleitet. Die auf solche Weise aufgefangene Flüssigkeitsmenge wog man mittelst einer sehr genauen Wage. Aus den Differenzen der Wägungen ergab sich das Verhältnis der Gewichte. Es entsprach dem Verhältnis der Zeiten mit solcher Genauigkeit, daß die zahlreichen Beobachtungen niemals merklich voneinander abwichen.

Wir haben Galileis Versuchen mit der schiefen Ebene eine etwas größere Ausführlichkeit gewidmet, weil sie eine der ersten, bis zur Auffindung des Naturgesetzes durchgeführten Versuchsreihen darstellen.

Galilei erkannte auch, daß die Geschwindigkeiten, welche beim Falle über die schiefe Ebene erlangt werden, nur von der

---

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 24. S. 25.

Höhe und nicht von der Neigung abhängen. Ein Körper wird demnach, wenn er von C nach A und ein anderes Mal von C nach D gelangt (Abb. 8) in A und in D die gleiche Geschwindigkeit besitzen. Und zwar ist die Geschwindigkeit dieselbe, als wenn der Körper im freien Fall von C nach B gelangt wäre.

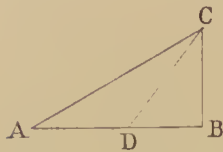


Abb. 8. Galilei untersucht die Bewegung auf der schiefen Ebene.

Daß die Geschwindigkeiten eines Körpers, der durch die Schwerkraft auf beliebiger Bahn zur selben Horizontalebene hinabsteigt, unter der Voraussetzung, daß keine Widerstände die Bewegung hemmen, sämtlich gleich sind, beweist Galilei noch durch folgenden Versuch. Er ließ das einfache Pendel A B vor einer Wand schwingen, so daß es den Bogen C B D beschrieb. Das Pendel wird dann, indem es durch den Bogen B D ansteigt, fast bis zur Horizontalebene C D gelangen und nur ein kleines Stück darunter bleiben, einzig und allein deshalb, weil infolge des Widerstandes der Luft und des Fadens das Pendel an der genauen Rückkehr in dieselbe Horizontalebene gehindert wird.

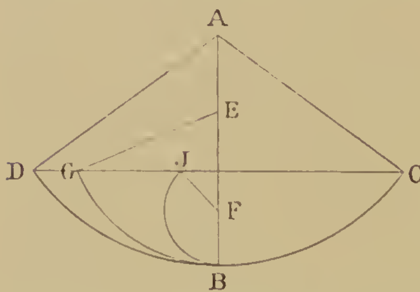


Abb. 9. Galilei wird auf das Gesetz von der Erhaltung der Energie geführt.

Befestigt man darauf bei E einen Nagel in der unmittelbar hinter dem Pendel befindlichen Wand, so wird das Pendel dadurch gezwungen, den Bogen B G um E als Mittelpunkt zu beschreiben. Es wird aber, von der erwähnten kleinen Ungenauigkeit abgesehen, wieder dieselbe Horizontalebene C D erreichen. Das Gleiche ist der Fall, wenn der Nagel in F angebracht wird. Nur wird das Pendel diesmal wieder einen anderen Bogen und zwar B J durchlaufen. Es sind folglich alle Momente und alle Geschwindigkeiten, mit denen sich das Pendel durch B bewegt, gleich groß. Wenn wir die Bewegung in D, G oder J anheben lassen, so wird das Pendel auf der anderen Seite stets bis C steigen. Folglich sind auch alle Momente, beziehungsweise Geschwindigkeiten, welche beim Durchlaufen der so verschiedenen Bahnen D B, G B, J B hervorgerufen werden, einander gleich.

Es ist dies im Grunde schon jene Vorstellung, die unter der Bezeichnung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft das Fundament der gesamten Naturerklärung bildet, die uns an dieser Stelle

bei Galilei begegnet. Ist doch die Erkenntnis, daß ein frei fallender Körper infolge der erlangten Geschwindigkeit gerade zu seiner ursprünglichen Höhe wieder emporzusteigen vermag, für alle späteren Vorstellungen, die man sich über Erhaltung der Kraft gebildet hat, grundlegend gewesen. Es blieb nur übrig, die an dem einzelnen Körper gewonnene Erkenntnis auf ein System von Körpern zu übertragen, eine Erweiterung des Prinzips, die, wie sich später zeigen wird, Huygens gelang.

Wir wollen jetzt die leitenden Gesichtspunkte und Versuche kennen lernen, welche Galilei zur Erklärung der Pendel- und der Wurfbewegung geführt haben, und uns dabei eng an die von ihm selbst gegebene Darstellung anschließen.

Galilei hatte bei seinen Versuchen neben einer Verringerung der Beschleunigung stets eine Herabminderung des Widerstandes im Auge. „Läßt man zwei an Gewicht sehr verschiedene Körper fallen,“ so führt er aus, „etwa eine Kork- und eine Bleikugel, so wird die Luft, die stets geöffnet und zur Seite geschoben werden muß, einen größeren Einfluß auf den leichten Körper ausüben als auf den mit einem heftigeren Antrieb begabten schweren. Der erstere wird infolgedessen zurückbleiben.

Wenn auch der Widerstand der Luft durch die Verlangsamung, welche der Fall beim Gebrauch der schiefen Ebene erfährt, hinreichend vermindert wurde, so ließ sich doch nicht verkennen, daß durch die Berührung mit dieser Ebene ein neuer Widerstand gegeben war. Gab es nun ein Mittel, den Einfluß dieses Widerstandes zu beseitigen? Das Letztere wurde erreicht, indem man die Kork- sowie die Bleikugel an zwei gleichen, feinen Fäden von 4—5 Ellen Länge aufhing. Entfernte man dann beide Körper aus der Ruhelage und ließ sie gleichzeitig los, so wurden Kreisbögen von gleichen Halbmessern beschrieben. Die Kugeln schwangen über ihre ursprüngliche Lage hinaus und kehrten auf denselben Wegen zurück. Nachdem sie sehr oft hin- und hergegangen waren, zeigte sich deutlich, daß die Bewegung des schwereren Körpers so sehr mit derjenigen des leichteren übereinstimmte, daß keine Verschiedenheit zu bemerken war. Die Pendelbewegung stellte sich somit als eine Fallbewegung dar, bei welcher der Widerstand des Mittels sehr eingeschränkt und der bei einer geneigten Ebene vorhandene Reibungswiderstand gänzlich vermieden ist.

Noch eine weitere Ähnlichkeit zwischen der Pendelbewegung und dem Fall über die schiefe Ebene ließ sich erkennen: Galilei

hatte gezeigt[1]), daß ein Körper, welcher längs der zu einem beliebigen Bogen gehörigen Sehne herabfällt, z. B. von A, B, C, D oder E nach F, die gleiche Zeit gebraucht, einerlei ob der entsprechende Bogen volle 180° beträgt oder weniger. Auch für ein um A schwingendes Pendel ergab sich, daß es in der gleichen Zeit, in welcher es den Weg E_1 F (der Sehne E F entsprechend) zurücklegt, bei größerem Ausschlage die Strecke D_1 F (entsprechend der Sehne D F) durchfällt.

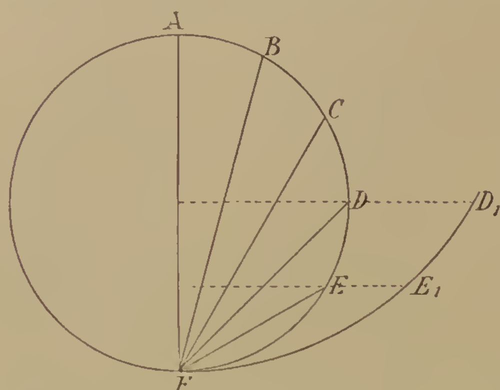


Abb. 10. Zur Erklärung der Isochronie der Pendelschwingungen.

Hatte man z. B. das Bleipendel um 50° von dem Lote entfernt[2]) und ließ es frei schwingen, so beschrieb es jenseits des Lotes gleichfalls nahezu 50°, im ganzen also 100°. Zurückkehrend, beschrieb es einen etwas kleineren Bogen und gelangte nach einer großen Anzahl von Schwingungen endlich zur Ruhe. Jede dieser Schwingungen kam in einer sich stets gleich bleibenden Zeit zustande, sowohl die von 50° Ausschlag, wie diejenigen von 20 oder 10°. Die Geschwindigkeit nahm also allmählich ab, da in gleichen Zeiten immer kleinere Bögen beschrieben wurden.

Ganz denselben Vorgang nahm Galilei bei der Korkkugel wahr, wenn er sie an einem ebenso langen Faden befestigte. Nur daß die Korkkugel nach einer kleineren Zahl von Schwingungen zur Ruhe kam. Alle Schwingungen geschahen in gleichen Zeiten, und zwar in derselben Zeit wie die Schwingungen der Bleikugel.

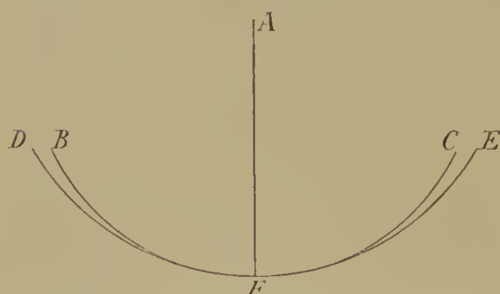


Abb. 11. Kreis und Zykloide als Bahnen des schwingenden Körpers.

Für größere Ausschläge des Pendels besitzt, wie man später erkannte, dieses Gesetz nicht mehr die volle Gültigkeit, da der Kreisbogen keine Isochrone, d. h. keine Kurve gleicher Schwingungsdauer ist. Huygens wies später nach, daß dieses für die Zykloide zutrifft. Da die Krüm-

1) Ostwalds Klassiker Nr. 24. S. 35.
2) Ostwalds Klassiker Nr. 11. S. 75.

mung beider Kurven in der Nähe der Ruhelage F jedoch (s. Abb. 11) nahezu gleich ist, so gilt das Gesetz von der Isochronie der Pendelschwingungen für kleine Ausschlagswinkel mit hinreichender Genauigkeit. Auffallend bleibt es allerdings, daß Galilei den bei größeren Winkeln eintretenden Unterschied nicht erwähnt. Es geschah dies wohl daher, weil er ihn allein auf den wachsenden Widerstand des Mediums bei der schnelleren Bewegung durch einen größeren Kreisbogen zurückführte. Überhaupt beschränkt sich Galilei vorwiegend auf die experimentelle Erforschung der Pendelbewegung, während ihre mathematische Analyse späteren Jahrzehnten vorbehalten blieb. Wieder war es Huygens, dem wir die Formel für diese Bewegung, sowie die Verwendung des Pendels in den Uhren verdanken. Die Idee, das Pendel zur Zeitmessung zu verwenden, ist Galilei indessen auch schon gekommen[1]). Ja, er hat seinem Sohne und seinem Schüler Viviani, wie aus dessen Aufzeichnungen hervorgeht, kurz vor seinem Tode die Konstruktion einer Pendeluhr entwickelt.

Der von Galilei für astronomische Beobachtungen ersonnene Zeitmesser besaß folgende Einrichtung. An dem Pendel AB (Abb. 12) ist eine starke Borste C befestigt. Diese greift in eine Lücke des Zahnrades D, das sich auf der Achse F drehen kann. Es ist ersichtlich, daß die Borste bei jedem Hin- und Hergehen des Pendels dem Rädchen eine Drehung um einen Zahn erteilt. Diese Drehung ließ sich leicht auf ein Zählwerk übertragen. Nur bedurfte das Pendel, damit es nicht schließlich stillstand, von Zeit zu Zeit eines Anstoßes. Galileis Bemühen mußte sich ganz naturgemäß darauf richten, diesen Anstoß durch eine mechanische Vorrichtung herbeizuführen. Abb. 13 gibt Galileis Zeichnung wieder, die er kurz vor seinem Tode anfertigte[2]). Über die Prioritätsansprüche ist man geteilter Ansicht. Jedenfalls hat Huygens die Pendeluhr unabhängig von Galileis Vorarbeiten erfunden.

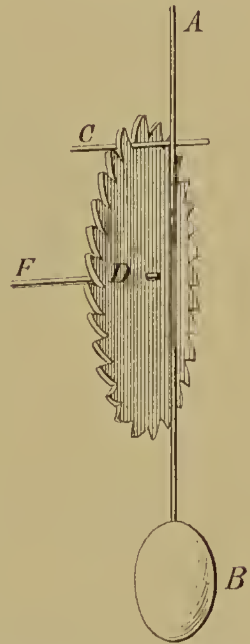


Abb. 12. Galilei verbindet das Pendel mit einem Zählwerk.

[1]) Näheres siehe bei Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst, Leipzig 1899, S. 120 u. f.

[2]) Näheres findet sich in der Abhandlung E. Gerlands, Über die Erfindung der Pendeluhr. Bibl. math. III. Folge, Bd. V. S. 234.

Galilei dehnte seine Untersuchungen auch auf Pendel verschiedener Länge aus und fand, daß ein Pendel, um doppelt so langsam zu schwingen wie ein anderes, viermal so lang sein muß, während der neunfachen Länge eine dreimal so große Schwingungszeit entspricht, so daß sich also die Pendellängen wie die Quadrate der entsprechenden Schwingungszeiten verhalten [1].

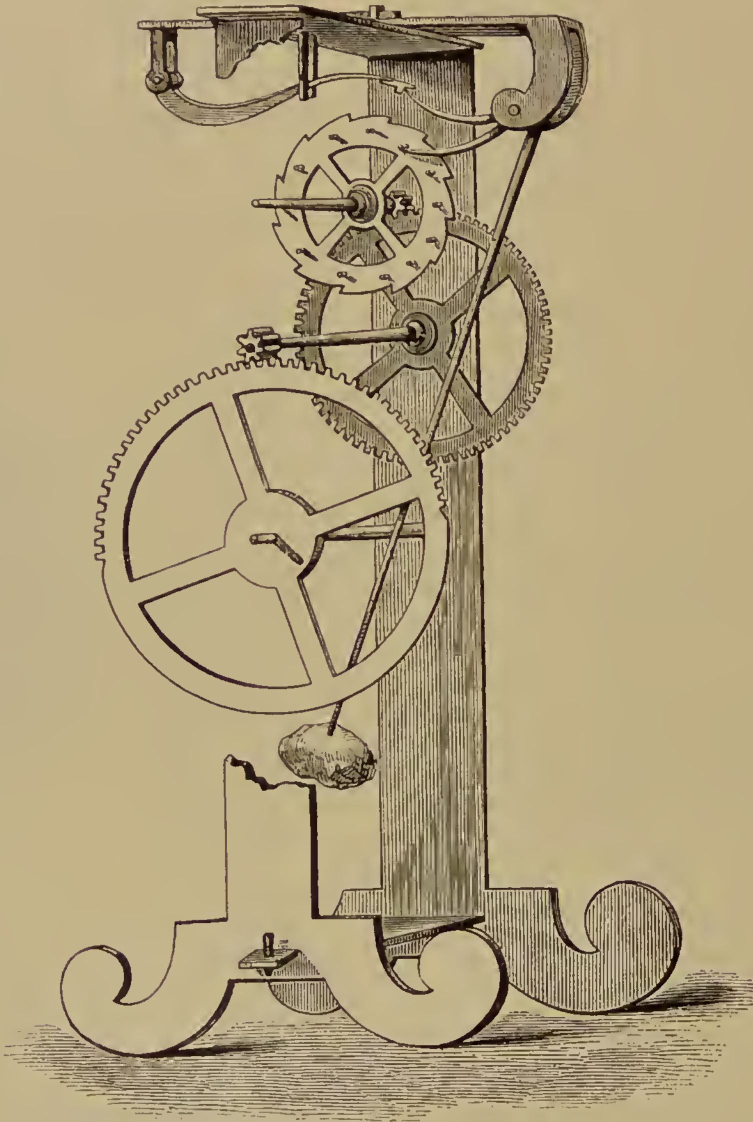


Abb. 13. Galileis Entwurf einer Pendeluhr [2].

Man könne daher, fügt Galilei hinzu, sofort die Länge eines Pendels von beliebiger Länge berechnen, auch wenn sein Aufhänge-

1) Ostwalds Klassiker Nr. 11. S. 84.

2) Zeitschrift für Instrumentenkunde 1888. S. 79.

punkt unsichtbar sei und man nur das untere Ende beobachten könne. Galilei gibt dazu folgendes Beispiel: „Während mein Gehilfe einige Schwingungen zählt, beobachte ich die Schwingungszahl eines anderen Pendels von genau einer Elle Länge. Angenommen mein Gehilfe habe 20 Schwingungen gezählt, während ich 240 erhalten habe. Die Quadrate dieser Zahlen sind 400 und 57600. Das lange Pendel enthält somit 57600 solcher Teile, von denen 400 auf eine Elle gehen. Seine Länge ist also 57600:400 gleich 144 Ellen“.

Nachdem die Pendelbewegung als eine Modifikation der Fallbewegung erkannt war, ergab sich dem Scharfsinn Galileis dasselbe für den Wurf. Bezüglich dieses Vorganges war die bloße Spekulation zu den ungereimtesten Ansichten gelangt. Einige Klarheit findet sich zwar schon bei den Vorläufern Galileis[1]. Diesem blieb es jedoch vorbehalten, auf Grund der von ihm erkannten Prinzipien eine wahre und erschöpfende Analyse der Wurfbewegung zu geben. Es war dies zunächst das Prinzip der Trägheit oder des Beharrungsvermögens. Danach ist die Bewegung auf einer unbegrenzten horizontalen Ebene, wenn alle Widerstände ausgeschlossen sind, gleichförmig und unaufhörlich[2]. Wird dann, so lautet das zweite Prinzip, der in Bewegung begriffene Körper einer Kraft unterworfen, so setzt sich die neue Bewegung, welche aus der Wirkung jener Kraft hervorgeht, mit der ersten, schon bestehenden zusammen.

Wahrscheinlich hat Galilei diese beiden Grundprinzipien der Mechanik, nämlich das Trägheitsgesetz und das Gesetz von der gegenseitigen Unabhängigkeit der auf einen Körper einwirkenden Kräfte, aufgestellt, um das Koppernikanische System darauf zu stützen. Man geht sogar so weit, diese Prinzipien weniger als das Ergebnis von Versuchen, denn als Folgerungen aus dem Koppernikanischen System anzusehen[3]. Richtiger ist wohl, daß Galilei die Ergebnisse der Erforschung irdischer mechanischer Vorgänge mit den nach der Theorie des Koppernikus gedeuteten Himmelserscheinungen in gutem Einklang fand.

---

1) S. Bd. I. S. 337.

2) Näheres über die Entdeckung dieses Prinzips siehe bei E. Wohlwill, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes (Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft. Bd. XIV u. XV).

3) P. Tannery, Galilée et les principes de la dynamique.
Siehe auch die Jahrbücher über die Fortschritte der Mathematik, Jahrgang 1901.

Im Grunde genommen handelt es sich bei Galileis Untersuchung des Wurfes zunächst um die Anwendung des Gesetzes vom Parallelogramm der Bewegungen, das uns bei ihm zum erstenmal als allgemeines Prinzip begegnet, und noch nicht um das Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte, das sich zuerst in voller Klarheit in Newtons Prinzipien ausgesprochen findet. Andererseits betrachtete aber schon Galilei die erzeugten Bewegungen nicht rein phoronomisch, sondern er faßte sie auch als Wirkungen von Kräften auf. Mit Recht aber gilt es als einer der wichtigsten Fortschritte der Mechanik, daß Galilei die Umstände, welche die Bewegungen veranlassen, in ihren Wirkungen als unabhängig voneinander erkannte. Newton selbst hat ihn deshalb als den Entdecker des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte bezeichnet [1]). Sehen wir jetzt an einem besonderen Fall, wie Galilei die von ihm erkannten, erwähnten Prinzipien anwendet.

Ist die horizontale Ebene, auf welcher ein Körper sich dem Gesetz der Trägheit zufolge fortbewegt, nicht unendlich, sondern begrenzt, so wird der Körper, am Ende der Ebene angelangt, sich zwar weiter bewegen, zu seiner gleichförmigen unzerstörbaren Bewegung wird sich indes die durch die Schwerkraft erzeugte gesellen, so daß eine zusammengesetzte Bewegung entsteht. Solcher Art nun ist die Wurfbewegung. Der Körper wird eine Bahn von stetiger Krümmung, und zwar, wie sich leicht zeigen läßt, eine Halbparabel beschreiben.

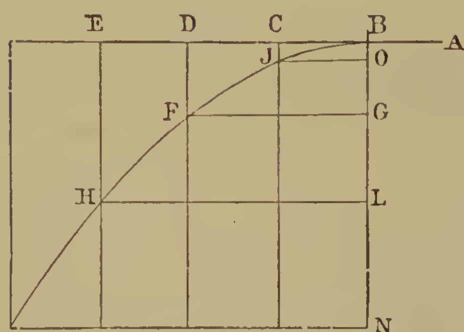


Abb. 14. Galileis Ableitung der Wurfkurve [2]).

Die horizontale Ebene, längs welcher sich der Körper gleichförmig fortbewegt, sei AB. Am Ende B der Ebene fehlt die Stütze und der Körper unterliegt infolge seiner Schwere einer Bewegung längs der Senkrechten BN. Man denke sich AB nach E hin fortgesetzt und teile gewisse gleiche Strecken BC, CD, DE darauf ab. Gelangt der Körper infolge seiner gleichförmigen Bewegung nach C, so denken wir uns das durch den Fall bedingte Stück CJ hinzugefügt. Der Körper wird sich somit nach Ablauf derjenigen Zeit, welche der Bewegung von B nach C ent-

1) Rosenberger, Geschichte der Physik Bd. II. S. 227.

2) Galileis Unterredungen und mathematische Demonstrationen. Siehe Ostwalds Klassiker Nr. 24. Fig. 108.

spricht, im Punkte J befinden. Während der Körper infolge der gleichförmigen Bewegung von C nach D gelangt, also dasselbe Stück zurücklegt wie vorher, ist die Fallstrecke gleich 3 CJ oder der Gesamtfallraum DF gleich 4 CJ. Hat endlich nach Ablauf des dritten Zeitteils der Körper infolge der gleichmäßigen Bewegung die dreifache Strecke BE zurückgelegt, so würde ihn der Fall von B nach L geführt haben, welche Strecke das Neunfache von CJ ist usf. Nun verhalten sich die Quadrate von BC, BD und BE, welche Stücke man als die Ordinaten der Kurvenpunkte J, F und H bezeichnet, wie die Strecken CJ, DF, und EH, nämlich wie 1 : 4 : 9. Diese Strecken CJ, DF und EH sind die Abszissen der Punkte J, F und H. Die analytische Geometrie lehrt nun, daß alle Punkte, deren Abszissen sich verhalten wie die Quadrate der zugehörigen Ordinaten, einer Parabel angehören [1]).

Galilei zeigte dann, daß der schräg aufwärts gerichtete Wurf nichts neues darbietet, sondern in der gleichen Weise aus zwei Bewegungen hervorgeht, deren Zusammensetzung als Wurfbahn wieder eine Parabel liefert. Er bestimmt auch die Parabelamplituden (Wurfweiten) und weist nach, daß Körper, die mit gleicher Anfangsgeschwindigkeit („gleichen Impulsen") unter Winkeln abgeschossen werden, die nach oben und unten gleich viel von 45° abweichen, dieselbe Wurfweite besitzen [2]).

Aus der Tatsache, daß beim Spannen eines Seiles auch zwei Kräfte wirken, nämlich die horizontale Spannkraft und das in vertikaler Richtung wirkende Gewicht des Seiles, leitet Galilei die Erscheinung ab, daß das Seil stets die Form einer krummen Linie annimmt und bei einiger Länge nicht vollkommen horizontal ausgespannt werden kann. Galilei ist oft des Irrtums geziehen worden, daß er jene Linie, die später Kettenlinie genannt wurde, mit der Parabel verwechselt habe. Er sagt aber ausdrücklich, daß nicht gleiche, sondern nur ähnliche Verhältnisse vorliegen und das gespannte Seil sich der parabolischen Form nur nähert [3]).

Obgleich Galilei sehr wohl wußte, daß die Wurflinie durch den Luftwiderstand bedeutende Änderungen erfährt, hat er letzteren

1) Der analytische Ausdruck für diese Kurve lautet: $y^2 = 2px$. Für zwei Punkte $x_, y_,$ und $x_{,,} y_{,,}$ erhalten wir $y_,^2 = px_,$ und $y_{,,}^2 = 2px_{,,}$. Die Division der beiden Gleichungen ergibt das oben ausgesprochene Gesetz: $x_, : x_{,,} = y_,^2 : y_{,,}^2$.

2) Ostwalds Klassiker Nr. 24. S. 107.

3) Ostwalds Klassiker Nr. 24. S. 119. Das Problem der Kettenlinie wurde erst 1691 durch Huygens, Leibniz und die Gebrüder Bernoulli gelöst.

bei seinen Ableitungen doch außer Betracht gelassen. Daß die Ergebnisse der Theorie in der Wirklichkeit durch eine Reihe von Nebenumständen beeinflußt werden, ohne jedoch deshalb ihren Wert zu verlieren, war ihm vollkommen klar. Er selbst beweist in aller Ausführlichkeit, daß genau genommen weder die durch den Stoß hervorgerufene Bewegung gleichförmig, noch die Fallbewegung gleichförmig beschleunigt, noch die Wurfkurve eine Parabel ist. Letzteres treffe schon deshalb nicht zu, weil die Richtung der Schwerkraft nicht stets parallel bleibt, sondern sämtliche Lote nach dem Erdmittelpunkte zusammenlaufen. Bei weiten Würfen aus Geschützen müsse dieser Umstand die Form der Kurve, ganz abgesehen von dem Widerstand der Luft, schon merklich beeinflussen. Wir sehen, daß hier schon im Keime das Problem der Zentralbewegung, deren Gesetze erst Newton und Huygens ermittelten, gegeben ist. Die durch den Stoß hervorgerufene, der Theorie nach gleichförmige Bewegung wird aber, wie Galilei weiter ausführt, durch den Luftwiderstand nicht nur verzögert, sondern schließlich ganz vernichtet; und zwar geschehe dies um so schneller, je leichter der Körper sei. Jede Fallbewegung müsse endlich, auch bei den schwersten Körpern, infolge des mit der Geschwindigkeit sehr stark anwachsenden Widerstandes der Luft in eine gleichförmige Bewegung übergehen. Um dies zu entscheiden, empfiehlt Galilei[1]), eine Kugel aus großer und aus geringer Höhe senkrecht herabzuschießen. Obgleich der Theorie nach im ersten Fall die Wirkung eine größere sein müsse, so werde man doch das Umgekehrte finden, weil der Luftwiderstand die Geschwindigkeit, die dem Geschoß durch die Kraft des Pulvers erteilt werde, auf dem größeren Wege bedeutender als auf dem kleineren hemme. Beim schrägen Wurf aber müsse aus demselben Grunde die Gestalt der Wurfkurve um so mehr von der Parabel abweichen, je größer die Anfangsgeschwindigkeit sei. Die Nebenumstände, welche bei der Wurfbewegung in Betracht kommen, hat Galilei somit erkannt und ihre Wirkung richtig ermessen. Er kommt indessen zu der Ansicht, daß über all die unendlich verschiedenen Möglichkeiten, die hinsichtlich der Schwere, der Geschwindigkeit und der Form des geworfenen Körpers bestehen, keine Theorie gegeben werden könne. Es bedurfte einer bedeutenden Fortentwicklung der mathematischen Analyse und der Experimentierkunst, um das „ballistische“ Problem zu bewältigen und die wirkliche Bahn eines geworfenen Körpers, die „ballistische Kurve“ zu bestimmen. Erst im 18. Jahr-

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 24 S. 90 u. 91.

hundert haben Johann Bernoulli und andere[1]) eine angenäherte Lösung dieser Aufgabe gefunden.

Hiermit verlassen wir Galileis Untersuchungen über die Fall- und Wurfbewegung, welche den dritten und vierten Tag seiner „Unterredungen“ ausfüllen und hier nur skizzenhaft geschildert werden konnten. Diese Untersuchungen werden mit Recht als die hervorragendste Leistung Galileis bezeichnet. Erst wenn man berücksichtigt, daß Galilei auf diesem Gebiete kaum etwas anderes vorfand als irrige Meinungen, vermag man den Ausspruch Lagranges zu würdigen, daß ein außerordentliches Genie dazu gehörte, um diesen Teil der „Unterredungen“, den man nie genug bewundern könne, zu verfassen.

Wie wir sahen, liegen die Hauptverdienste Galileis auf dem Gebiete der Dynamik. Ja, er hat diesen Teil der Mechanik, von dem vor ihm nur einige verhältnismäßig unbedeutende, durch Lionardo da Vinci, Tartaglia und Benedetti geschaffene Ansätze vorhanden waren, erst von Grund aus geschaffen. Die Fundamente der Statik hatte die neuere Zeit dagegen aus dem Altertum überliefert bekommen. Doch war auf diesem Gebiete von Archimedes bis Galilei so wenig geschehen, daß letzterem auch hier nicht nur die schärfere Begründung der schon bekannten Sätze, sondern auch die Auffindung mancher neuen Wahrheit vorbehalten blieb.

Vor allem verdanken wir Galilei jene eigentümliche Verbindung statischer und dynamischer Grundsätze, die wir heute als das Prinzip der virtuellen oder möglichen Geschwindigkeiten oder Verschiebungen bezeichnen. Man versteht darunter die Geschwindigkeiten, welche die Punkte eines Systems, an dem sich Kräfte das Gleichgewicht halten, in dem Momente, in welchem das Gleichgewicht gestört wird, annehmen würden. Das neue Prinzip besagt, daß die im Gleichgewicht befindlichen Kräfte sich umgekehrt wie jene Wege oder Verschiebungen verhalten. Findet die zunächst nur gedachte Verschiebung wirklich statt, so ist die bei der einen Bewegung geleistete Arbeit gleich derjenigen, die bei der entgegengesetzten Bewegung geleistet wird. Wie vermöge dieser Vorstellungsweise verborgene statische Beziehungen als bestimmte Verhältnisse hervortreten, möge an einigen Beispielen aus Galileis Schriften gezeigt werden. So ergibt sich die Bedingung für das Gleichgewicht am Hebel aus dem Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten folgendermaßen. Zwei Kräfte P und Q

[1]) Benjamin Robins, New principles of gunnery. London 1742.

(Abb. 15) greifen an den Armen des Hebels ACB unter einem rechten Winkel an. Die Verschiebungen bei einer Störung des Gleichgewichts sind AD und BE. Diese können für einen sehr kleinen Winkel als gerade, zu ACB senkrechte Stücke betrachtet werden. Es verhalten sich dann die Kräfte, wenn Gleichgewicht besteht, umgekehrt wie diese Verschiebungen (P : Q = BE : AD). Auf solche Weise erkannte Galilei die Wahrheit, daß bei jeder Maschine das, was an Kraft gewonnen wird, an Weg wieder verloren geht.

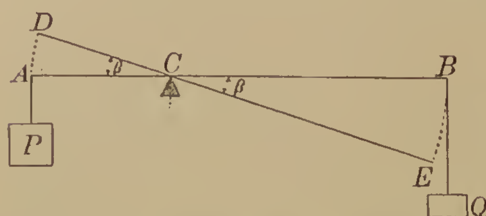


Abb. 15. Ableitung des Hebelgesetzes aus dem Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten.

In ähnlicher Weise dehnt Galilei die Betrachtung an der Hand des neuen Prinzips, das er, ohne es mit einem besonderen Ausdruck zu benennen, bei allen statischen Untersuchungen anwendet, auf den Flaschenzug und auf die schiefe Ebene aus. Das Gleichgewicht auf letzterer untersucht er für den Fall, daß ihre Länge das Doppelte der Höhe beträgt (Abb. 16). Es ist dann $P = \frac{Q}{2}$. Wie Galilei hervorhebt, wird das Gleichgewicht auch durch die mögliche Annäherung und Entfernung der Gewichte in bezug auf den Erdmittelpunkt bestimmt[1]). Sinkt nämlich P um h, so steigt Q längs AB um $\frac{h}{2}$. Die Produkte aus dem bewegten Gewicht und der Bewegung in vertikaler Richtung $P.h$ und $Q\frac{h}{2}$ sind aber gleich, da ja $P = \frac{Q}{2}$ ist, denn

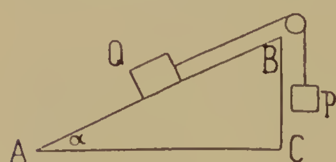


Fig. 16. Galilei wendet das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten auf die schiefe Ebene an.

$$\frac{Q}{2} . h = Q . \frac{h}{2}.$$

Durch die Ermittlung der möglichen Verschiebungen findet Galilei auch das Verhältnis von Kraft und Last beim Flaschenzug. Er gelangt unter der Voraussetzung, daß die Wege s und w der Kraft und der Last sich verhalten wie die Zahl der Seilstücke, über welche sich die Last verteilt, zu der Gleichung $P.s = Q.w$.

1) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 1883. S. 47.

An Stelle vorher zur Beurteilung des Gleichgewichts allein maßgebender statischer Momente führt Galilei für diesen Zweck die Produkte aus den Gewichten und den Falltiefen, d. h. die Arbeit ein und erkennt als die Bedingung des Gleichgewichts den Satz, daß die Arbeit der Kraft (Kraft mal Kraftweg) gleich der Arbeit der Last (Last mal Lastweg) ist.

Die Gleichung $P \cdot s = Q \cdot w$ führt auf die Proportion $P : Q = w : s$. In Worten: Wenn zwei Kräfte im Gleichgewicht stehen, so verhalten sie sich umgekehrt wie die entsprechenden Wege. Oder auch: Was man mit einer Maschine an Kraft ersparen kann, geht an Weg verloren. Man hat diesen Grundsatz wohl nach Descartes benannt. In Wahrheit aber ist auch er auf Galilei zurückzuführen.

Die wesentlichste Unfertigkeit, welche trotz dieser Erfolge für die Mechanik zunächst noch bestehen blieb, war der Mangel einer klaren Einsicht in das Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte. Galilei kannte zwar das Parallelogrammgesetz, er wandte es aber, wie wir bei seiner Untersuchung der Wurfbewegung sahen, nur zur Zusammensetzung von Bewegungen an. Dagegen findet sich bei ihm kein Fall einer statischen Anwendung des Prinzips von der Zusammensetzung der Kräfte.

Unfertig waren auch die Vorstellungen, zu denen Galilei hinsichtlich des Wesens und der Wirkung des Stoßes gelangte. Seine dynamischen Untersuchungen waren erfolgreich, solange er sich auf die Wirkung von Kräften auf eine einzige Masse beschränkte, wie es bei der Fall-, der Pendel- und der Wurfbewegung zutrifft. Bei der Stoßbewegung liegt nun eine Aufgabe höherer Ordnung vor, da es sich hier um das Verhalten von wenigstens zwei Massen unter der Wirkung von Kräften handelt. Die Schwierigkeit dieses Problems ahnte schon Aristoteles, als er die Frage aufwarf, warum ein kleiner Stoß auf einen Keil viel mehr ausrichten könne als ein großer Druck[1]. Galilei widmet dem Problem einen ganzen Abschnitt seiner „Unterredungen". Und wenn er es auch nicht auf mathematisch formulierte Gesetze zurückzuführen vermochte, so ist doch der Grad der Einsicht, zu dem er gelangte, ein hoher und für die weiteren Fortschritte bedeutsamer gewesen.

Mit voller Klarheit spricht es Galilei aus, daß die Kraft beim Stoße von zwei Umständen abhängt, welche beide die zu messende Energie bestimmen, nämlich von der Masse des stoßenden

[1]) Aristoteles, Mechan. Probleme (Poselger). Hannover 1881. S. 34.

Körpers und von seiner Geschwindigkeit. Galilei hebt hervor, daß jeder Stoß Arbeit leistet, während das ruhende Gewicht keine Arbeit leistet. Daher rührt auch seine Vorstellung, daß die Kraft des Stoßes im Verhältnis zur Kraft des bloßen Druckes gleichsam unendlich sei, weil bei letzterem der eine, die Energie mitbestimmende Faktor, die Geschwindigkeit nämlich, gleich Null ist.

Galilei braucht daher für das ruhende, nur einen Druck ausübende Gewicht mitunter den bekannt gewordenen Ausdruck totes Gewicht (Peso morto). Seine Anschauung entspricht durchaus der heutigen Vorstellungsweise, nach welcher die Bewegungsgröße eine andere Dimension als der Druck besitzt und letzterer sich somit zum Moment des Stoßes wie die Linie zur Fläche verhält. Wenn also Galilei sagt, die Kraft des Stoßes sei im Verhältnis zur Kraft des Druckes unbegrenzt groß[1]), so liegt darin nichts Unklares, wie man ihm wohl vorgeworfen hat. Man muß vielmehr in diesem Ergebnis die glänzende Verstandesschärfe Galileis anerkennen und zugeben, daß das Wesen der Sache ohne die Anwendung einer mathematischen Formel kaum zutreffender ausgedrückt werden konnte.

In seine Betrachtungen über das Wesen des Stoßes hat Galilei einen Versuch eingeflochten, der zu den später entdeckten Kräftebeziehungen, die sich innerhalb eines Systems von Körpern darbieten, hinüberleitet. Galilei brachte an einer Wage zwei übereinander befindliche Eimer durch ein Gegengewicht ins Gleichgewicht. Von diesen Eimern war der obere mit Wasser gefüllt, der untere dagegen leer. Darauf ließ er das Wasser durch eine im Boden des oberen Eimers vorhandene Öffnung in den unteren Eimer fließen und beobachtete, ob durch den Stoß des Wassers auf den unteren Eimer das Gleichgewicht gestört wird. Es zeigte sich folgender

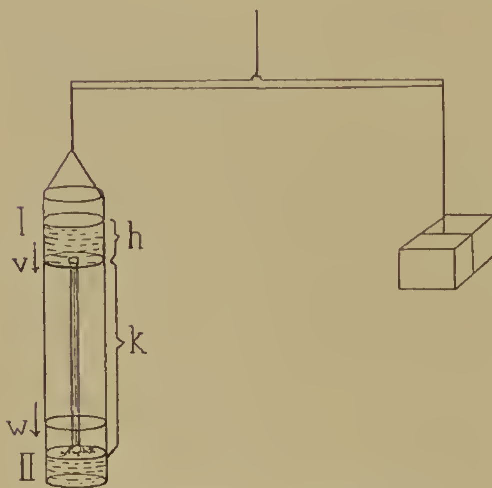


Abb. 17. Galileis Versuch über Kräftebeziehungen in einem System von Körpern[2]).

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 25. S. 43. (Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen, fünfter und sechster Tag.)

[2]) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 1883. Fig. 157.

unerwarteter Verlauf. Während das Wasser aus dem oberen Eimer in den unteren lief, blieb der Gleichgewichtszustand des ganzen Systems trotz des Anpralls der Flüssigkeit vollkommen erhalten. Die Seite mit den Eimern senkte sich nicht um eines Haares Breite. In dem Augenblicke, in welchem das Ausfließen begann, senkte sich sogar das Gegengewicht. Sobald aber das Wasser den unteren Eimer erreicht hatte, ging das System in den ursprünglichen Gleichgewichtszustand zurück.

Galilei nennt diesen Versuch zwar sinnreich, vermochte aber sich die Erscheinung doch nicht recht zu erklären. Wir wissen, daß das anfängliche Steigen des mit den Eimern beschwerten Wagearmes auf den Reaktionsdruck des ausfließenden Wassers zurückzuführen ist. Eine zweite Druckverminderung tritt für diesen linken Arm der Wage dadurch ein, daß das Gewicht des in der Luft schwebenden, im Fall begriffenen Wassers nicht wirksam ist. Beide, ein Steigen des linken Armes bewirkende Druckverminderungen werden aber von dem Augenblicke an, in welchem der Strahl den Boden des unteren Eimers erreicht, durch die Wirkung des Stoßes vollkommen ausgeglichen.

Grundlegend sind auch Galileis Untersuchungen über die Festigkeit gewesen, wenn Galilei sich auch unter dem Einfluß der Lehre vom Horror vacui unrichtige Vorstellungen gebildet hatte.

Zunächst stellte er sich die Aufgabe, die Zugfestigkeit und die Bruchfestigkeit zu bestimmen und ihr Verhältnis zu ermitteln. Es waren Erfahrungen des praktischen Lebens, insbesondere der Bau- und der Maschinentechnik, welche den Ausgangspunkt für diese Untersuchungen bildeten. Es sei eine bekannte Erfahrung, meint Galilei, daß eine Maschine im Kleinen als Modell wohl gelinge, im Großen ausgeführt, aber nicht bestehen könne. Eine größere Maschine, in den gleichen Proportionen wie eine kleine hergestellt, besitze nämlich eine viel geringere Festigkeit. So könne man auch kleine Obelisken und Säulen handhaben und aufrichten, ohne die Gefahr des Zerbrechens, während sehr große infolge der eigenen großen Last bei jedem Zufall Gefahr liefen, zu bersten. Nicht nur für Maschinen und Kunstwerke, sondern auch für alle Naturkörper bestehe daher eine notwendige Grenze, über die man nicht hinausgehen könne, wenn das Material dasselbe bleibt und auch die Proportionen gewahrt werden. So würden bei einem Baume von 200 Ellen Höhe zweifelsohne die Zweige unter ihrem Eigengewicht abbrechen; es müßte denn die Materie widerstandsfähiger gewählt, oder es müßten die Verhältnisse ge-

ändert, z. B. bei sehr großen Tieren die Knochen unförmlich dick gestaltet werden. Aus diesem Grunde fänden sich die Riesen des Tierreiches auch im Wasser, weil dort ihr Gewicht durch den Auftrieb ausgeglichen würde. Andererseits finde man, daß bei einer Verminderung des Körpers die Kräfte nicht im gleichen Maße abnehmen, sondern sogar relativ größer wären. Z. B. könne ein kleiner Hund drei andere von gleicher Größe tragen, während ein Pferd wohl kaum imstande sei, auch nur ein einziges Pferd auf seinem Rücken fortzuschleppen.

Es sind das für die Einsicht in die Mechanik der Tiere und der Pflanzen sehr wichtige Bemerkungen, die wir Galilei verdanken. Zu ihnen fügt er die weitere Einsicht, daß auch die Anordnung der Materie die Festigkeit in hohem Grade bedingt. Die Kunst und die Natur, sagt er, bedienten sich der hohlen Körper in tausend Fällen. Denn hier werde ohne Gewichtsvermehrung die Festigkeit bedeutend gesteigert. Als Beispiele führt er die Knochen und die Grashalme an. Galilei begnügt sich aber nicht mit der allgemeinen Beobachtung dieser Tatsache, sondern er zeigt auch, daß die Bruchfestigkeiten zweier Zylinder von gleicher Masse und Länge (Abb. 18), von denen der eine hohl, der andere massiv ist, sich zueinander wie ihre Durchmesser verhalten.

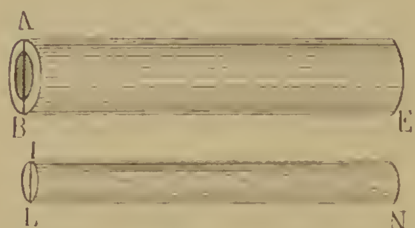


Abb. 18. Galilei vergleicht die Bruchfestigkeit hohler und massiver Zylinder.

Auch für die oben erwähnten Beobachtungen über die Inanspruchnahme größerer und kleinerer Gegenstände, Organismen und Maschinen findet Galilei den Grund in einem Satz der Festigkeitslehre. Dieser besagt, daß der Widerstand der Körper gegen das Zerbrechen, wenn die Formverhältnisse dieselben bleiben, nicht mit der Masse, sondern in geringerem Maße wächst. Während nämlich die Massen prismatischer Körper sich wie die dritten Potenzen der ähnlichen Seiten verhalten,

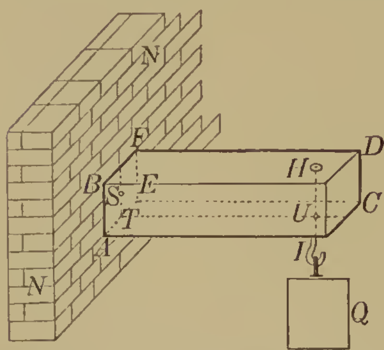


Abb. 19. Galilei untersucht die Bruchfestigkeit eines Balkens[1]).

[1]) M. Rühlmann, Vorträge über Geschichte der technischen Mechanik. Leipzig 1885. Fig. 12.

wächst der Widerstand gegen das Zerbrechen nur wie die Quadrate dieser Seiten.

Seine Theorie der Bruchfestigkeit begründet Galilei in folgender Weise. Denken wir uns (Abb. 19) einen parallelepipedischen Balken in einer Mauer befestigt und mit Q belastet, so können wir ihn als einen Winkelhebel S T U betrachten, dessen Drehpunkt T ist. An dem Arme T U wirkt die Last Q, an T S wirkt der Gesamtwiderstand aller Fasern. T S ist die Hälfte der Höhe h des Prismas, T U ist seine Länge. Setzen wir die Momente gleich, so ist der Gesamtwiderstand X multipliziert mit $\frac{h}{2} = Q \cdot l$. Der Gesamtwiderstand ist aber gleich einer Konstanten für die Einheit des Querschnittes, multipliziert mit dem Querschnitt (b . h), also gleich K . b h. Die Gleichung, eine der wichtigsten der technischen Mechanik, nimmt also die Form an:

$$K \cdot b\,h \cdot \frac{h}{2} = Q \cdot l \text{ oder}$$

die Bruchfestigkeit (oder relative Festigkeit) des Balkens wird ausgedrückt durch $Q = \frac{1}{2} K \cdot \frac{b\,h^2}{l}$. Galilei nahm bei seiner Ableitung auf die Elastizität der Fasern noch keine Rücksicht. Für Körper wie Glas und Stein ist dies zulässig, da man für diesen Fall die Annahme, welche Galilei allgemein macht, gelten lassen darf, die Annahme nämlich, daß die Fasern sich vor dem Abreißen nicht verändern, während sie in Wirklichkeit sich ja zum Teil ausdehnen, zum Teil verkürzen und nur in einer gewissen Zone (neutrale Fasern) ihre Länge beibehalten, so daß das Zerreißen aller Fasern nicht gleichzeitig stattfindet, wie Galilei voraussetzt. Unter der Voraussetzung der Elastizität der Körper gilt daher in der heutigen Mechanik ein kleinerer, in der Form aber dem von Galilei gefundenen ganz entsprechender Wert $\left(\frac{1}{6} K \frac{b\,h^2}{l}\right)$.

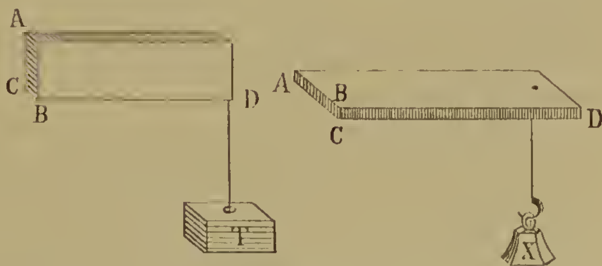


Abb. 20. Galilei untersucht die Bruchfestigkeit von Prismen.

Anknüpfend an diese Untersuchung zeigt Galilei nun weiter, weshalb ein Prisma auf schmaler Basis eine größere Bruchfestigkeit besitzt als ein solches auf breiter (siehe Abb. 20). In beiden Fällen bleibt der Hebelarm (B D) der Last

unverändert. Auch der Widerstand ändert sich nicht, da er in beiden Fällen gleich dem Widerstande aller Fasern der Basis AB ist. Was sich dagegen ändert, ist der Hebelarm des Widerstandes. Er ist im ersten Falle die Hälfte von AC, im zweiten dagegen nur die Hälfte von BC. Dem größeren Hebelarm entspricht aber ein größeres Moment, und diesem wieder eine größere relative Festigkeit.

Auch der Mechanik der flüssigen Körper, welche seit Archimedes keine Förderung erfahren hatte, wurde von Galilei zuerst wieder Beachtung geschenkt. Zunächst stellte er in seiner Schrift über die schwimmenden Körper[1]) eine Nachprüfung der von Archimedes gefundenen hydrostatischen Gesetze an und bestätigte ihre Richtigkeit. Dadurch gelangte gegenüber der unrichtigen Behauptung der Aristoteliker, daß das Schwimmen eines Körpers vor allem von seiner Form abhänge, die richtige Erkenntnis wieder zur Geltung. Diese Erkenntnis gipfelte darin, daß das Schwimmen von dem spezifischen Gewicht abhängt und daß ein Körper schwimmt, wenn sein spezifisches Gewicht kleiner ist als dasjenige der verdrängten Flüssigkeit. Die Aristoteliker waren zu ihrem Trugschluß durch die bekannte Erscheinung geführt worden, daß dünne Metallplatten auf dem Wasser schwimmen. Galilei machte demgegenüber darauf aufmerksam, daß solche Platten in einer Vertiefung auf der Oberfläche des Wassers ruhen und daß sie untersinken und nicht wieder emporsteigen, sobald sie ganz in die Flüssigkeit eingetaucht werden. Eine Erklärung des Schwimmens dünner Metallplatten oder Nadeln auf einer spezifisch leichteren Flüssigkeit vermochte erst das 18. Jahrhundert nach der Entdeckung der Oberflächenspannung zu geben. Letztere gab auch Aufschluß über eine Erscheinung, über welche Galilei sich keine Rechenschaft zu geben vermochte, die Erscheinung nämlich, daß Wassermassen auf Blättern sich im Zusammenhang erhalten, ohne zu zerfließen.

Um das Sinken und Steigen von Körpern in Flüssigkeiten aus dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten zu erklären, stellte Galilei folgenden fundamentalen Versuch an. Er brachte eine Wachskugel in reines Wasser und bemerkte, daß sie untersank. Erhöhte er darauf das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, indem er Salz darin löste, so stieg die Kugel bei einem bestimmten Konzentrationsgrade wieder empor.

---

1) Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quelle si muovono.

Galilei entwickelte ferner für die Beschaffenheit der Flüssigkeiten eine Auffassung, die bis auf den heutigen Tag allen Untersuchungen auf dem Gebiete der Hydromechanik als Grundlage gedient hat. Danach bestehen die Flüssigkeiten aus isolierten Teilchen, die sehr beweglich sind und deshalb dem geringsten Drucke folgen. Infolgedessen pflanzt sich jeder Druck durch die ganze Masse der Flüssigkeit fort.

In dem Bestreben, die Mechanik der Flüssigkeiten auf die zunächst an festen Körpern gewonnenen Grundsätze der allgemeinen Mechanik zurückzuführen, wandte Galilei zum ersten Male das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten auf hydrostatische Verhältnisse an. Er schuf damit für dieses Gebiet ein neues Beweisverfahren, das besonders durch Pascal in seiner ganzen Bedeutung erfaßt und in vollem Umfange angewandt wurde.

Archimedes hatte für die Untersuchung der statischen Verhältnisse den Begriff des statischen Moments geschaffen und bei der Erklärung der einfachen Maschinen sein Augenmerk vornehmlich auf die Gewichte und ihre Abstände vom Drehpunkt gerichtet. Stevin und Galilei dagegen faßten die statischen Verhältnisse vom dynamischen Gesichtspunkt auf, indem sie die Gewichte und deren bei einer Verschiebung des Systems auftretenden, also virtuellen, Falltiefen oder vertikalen Verschiebungsgrößen als maßgebend für die Beurteilung der Gleichgewichtsbedingungen betrachteten. Dies Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten oder Verschiebungen, wie man es genannt hat, läuft im Grunde genommen auf den Satz hinaus, daß Gleichgewicht vorhanden ist, wenn die Arbeit der Kraft gleich der Arbeit der Last ist, da ja das Produkt aus dem Gewicht und der vertikalen Verschiebung als die geleistete Arbeit betrachtet wird.

Am einfachsten und durchsichtigsten gestaltet sich bei Galilei die Anwendung des Prinzips der virtuellen Geschwindigkeiten in dem Falle, in welchem es sich um das Eintauchen eines prismatischen Körpers in ein gleichfalls prismatisches mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß handelt. Galilei verglich daher die Verschiebung oder, was sich dafür auch setzen läßt, die Geschwindigkeit des Prismas mit derjenigen Verschiebung, die der Flüssigkeitsspiegel in entgegengesetzter Richtung erfährt. Offenbar verhalten sich die Verschiebungen oder die Geschwindigkeiten des Prismas und des Spiegels umgekehrt wie die entsprechenden Flächen, nämlich die Grundfläche des Prismas und die Oberfläche des Flüssigkeitsspiegels. Wird das Prisma wieder herausgezogen, so findet in entsprechender

Weise ein Sinken des Spiegels statt. Das Produkt aus Gewicht und Geschwindigkeit des eingetauchten Körpers wird dann, wenn Gleichgewicht bestehen soll, gleich dem Produkte aus Gewicht und Geschwindigkeit der gehobenen Flüssigkeitsmasse gesetzt und so das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten zur Anwendung gebracht. Galilei dehnte es auch auf das Verhalten der Flüssigkeiten in kommunizierenden Röhren aus. Die Analogie zwischen diesem Verhalten und dem soeben geschilderten Vorgang konnte ihm nicht entgehen. Entspricht doch dem Eintauchen des Prismas und dem dadurch bewirkten Emporheben des Spiegels ein Herabdrücken der Flüssigkeit in der engeren und ein Steigen in der weiteren Röhre, wobei sich gleichfalls die Verschiebungen umgekehrt wie die Querschnitte verhalten. Auch mit Erfindungen hat Galilei die Hydromechanik bereichert. Er erfand eine hydrostatische Schnellwage nud konstruierte eine hydraulische Maschine, für welche ihm Venedig ein Patent verlieh [1]).

Wir haben hiermit die Art der Behandlung, welche Galilei den Problemen der Mechanik angedeihen ließ, hinreichend kennen gelernt und werden ihm die Berechtigung, von neuen Wissenszweigen zu sprechen, voll zugestehen müssen. Durchdrungen von der Bedeutung des erschlossenen, auf der innigen Verknüpfung des Versuches mit der mathematischen Ableitung beruhenden neuen Weges, ruft er am Schlusse seines dritten Gespräches aus: „Die in dieser kurzen Abhandlung vorgeführten Sätze werden, wenn sie in die Hände anderer Forscher gelangen, immer wieder zu neuen wunderbaren Erkenntnissen führen. Und es wäre denkbar, daß in solcher Weise eine würdevolle Behandlung sich allmählich auf alle Gebiete der Natur erstreckte". Diese Vorahnung sollte schon ein Menschenalter nach Galileis Hinscheiden durch die Taten eines Newton, Huygens und anderer Forscher der Erfüllung nahe gebracht werden. Indes schon Galilei selbst hat sich durchaus nicht auf die Mechanik beschränkt, sondern, wenn auch in bescheidenem Maße und mit geringerem Erfolge, seine Untersuchungen den übrigen Gebieten der Naturlehre zugewandt.

Daß die Luft sich beim Erwärmen ausdehnt, war schon dem Altertum bekannt. Beruhen doch auf diesem Verhalten manche physikalische Schaustücke Herons. Galilei scheint aber trotz allen Dunkels, welches die Geschichte des Thermometers umgibt, der erste gewesen zu sein, der diese Ausdehnung zum Messen des

1) Nelli, Vita I. p. 62. Das Patent datiert vom Jahre 1594 (Libri, l'histoire des mathématiques en Italie. IV. S. 197).

Wärmezustandes benutzt hat. Zwar enthalten seine Schriften, soweit sie nicht verloren gingen, kaum mehr als eine Andeutung über diesen Gegenstand. So heißt es im „Dialog“ an einer Stelle, man dürfe nicht zweifeln, daß heißes Eisen beim Erkalten eher von 10 Grad auf 9 Grad sich abkühle als von 10 auf 6. Indes ist unter Grad hier jedenfalls nur eine ganz unbestimmt gelassene Einheit zu verstehen.

Angaben der älteren Biographien weisen darauf hin, daß Galilei schon vor 1597, als er sich mit den Werken Herons beschäftigte, ein Thermoskop herstellte, das er bei seinen Vorträgen zeigte[1]). Es bestand aus einer unten offenen und oben in eine Kugel endigenden Röhre (Abb. 21), in welcher eine Flüssigkeit sich auf- und abbewegte. Letzteres geschah, sobald die in der Kugel eingeschlossene Luft erwärmt oder abgekühlt wurde, da sie dementsprechend einen größeren oder kleineren Raum einnahm. Gleichzeitig mußte sich aber auch jede Schwankung des Luftdrucks an diesem Instrument bemerkbar machen. Infolgedessen waren nur innerhalb eines kurzen Zeitraumes angestellte Versuche vergleichbar.

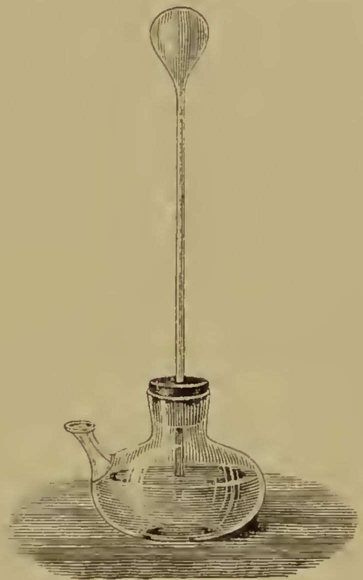


Abb. 21.
Galileis Thermoskop[2]).

Eine Verbesserung dieses Instrumentes bestand darin, daß man der Röhre eine horizontale Lage gab und die Luft nur durch ein Flüssigkeitströpfchen absperrte. Letzteres wurde bei den durch Wärmeunterschiede hervorgerufenen Volumschwankungen hin- und herbewegt[3]). Ein Freund Galileis[4]) kam schon auf den trefflichen Gedanken, ein solches seinen Zwecken entsprechend abgeändertes Thermoskop zur Bestimmung der Körperwärme von Kranken zu benutzen.

Galilei hat auch unter den Neueren zuerst sich wieder eingehender mit akustischen Untersuchungen beschäftigt. Zwar rührt

[1]) Nelli, Vita e commercio letterario di Galileo Galilei. Vol. I. Losanna 1793. S. 72.

[2]) Traumüller und Gerland, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899. S. 116.

[3]) Der Vorschlag rührte von Galileis Freund Sagredo her.

[4]) Sanctorius, Professor der Medizin in Padua.

das erste neuere Werk[1]) über diesen Gegenstand von Mersenne her, während die Untersuchungen Galileis nur gelegentliche Bemerkungen über akustische Dinge bringen. Man muß jedoch annehmen, daß Mersenne, der mit Galilei in regem Verkehr stand, seine Kenntnisse im wesentlichen Galilei verdankte. Mersenne gebührt das Verdienst, die Forschungsergebnisse des Meisters ausführlicher dargestellt und durch eigene Untersuchungen vervollständigt zu haben.

Galilei behandelt im Anschluß an die von ihm entdeckten Gesetze der Pendelschwingungen die Saitenschwingungen und zwar zunächst das Phänomen des Mitschwingens[2]), das, im physikalischen Denken nicht geschulte, Zeitgenossen aus einer Art Sympathie erklären zu können glaubten[3]). Die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Schwingungszahl erkannte Galilei zunächst durch folgenden Versuch. Er fuhr mit einem scharfen Eisen über eine Messingplatte. Jedesmal, wenn er dabei einen deutlichen Ton erhielt, waren auf der Platte entsprechend den Schwingungen des Eisens eine Menge feiner Striche in völlig gleichen Abständen hervorgerufen. Erzielte er durch Ändern der Geschwindigkeit einen höheren Ton, so waren die Striche gedrängter; wurde der Ton dagegen tiefer, so nahmen die Abstände zu und zeigten dadurch eine geringere Zahl von Schwingungen an. Diese Schwingungen machten sich auch dadurch bemerklich, daß das Eisen, jedesmal wenn beim Hinwegstreichen über die Messingplatte ein Ton entstand, in der Faust erzitterte, so daß die Hand ein Schauer durchfuhr. Der Vorgang, sagt Galilei, sei genau derselbe, als wenn wir flüstern und laut sprechen. Nur im letzteren Falle empfinde man im Kehlkopf und im Schlunde ein Zittern.

Die Zahl der in der Zeiteinheit bei bestimmten Tönen entstandenen Striche bot nun Galilei das Mittel einen vorher nur in seiner physiologischen Wirkung bekannten Vorgang der messenden physikalischen Untersuchung zu unterwerfen. Zunächst richtete es Galilei so ein, daß zwei bestimmte Töne, die er auf seiner Messingplatte durch schnelleres und langsameres Streichen erzeugte, den Zusammenklang bildeten, welchen man in der Musik als Quinte bezeichnet. Als Galilei darauf die Striche zählte und ihre Entfernung ausmaß, fand er, daß auf 30 Striche, d. h. Schwingungen, des einen Tones 45 Striche oder Schwingungen des anderen kamen.

1) Harmonicorum libri XII. Paris 1636.
2) Ostwalds Klassiker Nr. 11. S. 86.
3) Z. B. Schwenter, (Bd. I, S. 331).

Bisher hatte man die Tonhöhe nur in ihrer Abhängigkeit von der Länge der schwingenden Saiten betrachtet und auch hierbei einfache Beziehungen entdeckt. Galilei erkannte nun aber als das Grundgesetz der Akustik, daß die Höhe eines Tones von der Anzahl der Schwingungen abhängt, welche der tönende Körper in der Zeiteinheit macht. Er fand durch jenen einfachen, soeben geschilderten Versuch, daß diese Schwingungszahlen für den Grundton, die Quarte, die Quinte und die Oktave sich verhalten wie $1 : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : 2 = 6 : 8 : 9 : 12$.

Galilei untersuchte ferner die Töne schwingender Saiten in ihren Beziehungen zur physikalischen Beschaffenheit der Saiten. Das Ergebnis war folgendes: Bei gleicher Spannung und Beschaffenheit entsteht die Oktave durch Verkürzung der Saite auf die Hälfte. Bei gleicher Länge und Beschaffenheit erhält man die Oktave, wenn man die Spannung vervierfacht. Will man bei gleicher Länge und Spannung die Oktave erhalten, indem man die Saite feiner wählt, so muß man ihre Dicke auf ein Viertel reduzieren. Indessen wird das akustische Verhältnis, wie Galilei hervorhebt, nicht durch die Länge, die Spannung und den Querschnitt der Saite verursacht, sondern durch die Zahl der Schwingungen oder Lufterschütterungen, die unser Trommelfell treffen und es im gleichen Tempo mitschwingen lassen.

Für diese Erscheinung des Mitschwingens oder der Resonanz gibt Galilei folgende Erklärung. Die Schwingungen der Saite versetzen die Luft in Bewegung. Jede mit der angeschlagenen gleich gestimmte Saite fängt, weil sie im selben Tempo zu vibrieren vermag, beim ersten Impulse an, sich ein wenig mit zu bewegen. Es werden nun aber ein zweiter, dritter und viele andere Impulse hinzugefügt; und weil sämtliche Impulse die Saite zur passenden Zeit treffen, so wird schließlich die Schwingung der mitschwingenden Saite ebenso ergiebig wie diejenige der angeschlagenen.

Auch die Erscheinung der Konsonanz und Dissonanz sucht Galilei aus dem Verhältnis der Schwingungszahlen und der Beschaffenheit des Gehörorganes zu erklären. Konsonant seien diejenigen Töne, die in einer gewissen Ordnung das Trommelfell erschütterten. Dissonante Töne dagegen bewirkten, daß die Knorpel des Trommelfelles sich in steter Qual befänden, weil die Erschütterungen, die solche Töne hervorriefen, nicht zusammenträfen.

Galilei machte auch auf die Erscheinung der stehenden Wellen aufmerksam. Er füllte ein Glas zum Teil mit Wasser und

brachte das Glas durch Streichen zum Tönen. Es zeigten sich dann Erhöhungen und Vertiefungen, welche stehen blieben, solange der Ton dauerte. Sprang der Ton in die höhere Oktave über, so zerfiel jede Welle in zwei Wellen.

Mit optischen Untersuchungen hat sich Galilei, abgesehen von seiner Mitwirkung bei der Erfindung der Fernrohre, kaum beschäftigt. Doch zeugt es von seiner Divinationsgabe, daß er eine endliche Geschwindigkeit des Lichtes annahm, obgleich sein Versuch, sie zu messen, scheiterte. Der Versuch selbst war so gut ausgedacht, daß wir ihn trotzdem schildern wollen, weil er sich im Prinzip mit der später von Fizeau erdachten erfolgreichen Versuchsanordnung deckt[1]).

In beiden Fällen handelt es sich nämlich um ein rasches Hin- und Hersenden von Lichtsignalen zwischen zwei weit voneinander entfernten Orten. Bei Galilei erhielten zwei Personen Laternen. Sie wurden zunächst auf kurze Entfernung einander gegenübergestellt. Jeder hatte dann sein Licht wiederholt aufzudecken und sofort wieder abzublenden. Das kurze Aufdecken erfolgte jedesmal, wenn der eine Beobachter das Licht des zweiten Beobachters erblickte. Darauf wurde der Abstand zwischen beiden Personen auf eine Meile vergrößert und das Experiment wiederholt. Wäre dann die Beantwortung der Signale in einem langsameren Tempo erfolgt, so hätte man daraus auf die Zeit, welche das Licht zu seiner Fortpflanzung gebraucht, schließen können. Die Entfernung war indessen zu gering und der Wechsel erfolgte nicht rasch und gleichmäßig genug. Infolgedessen verlief der Versuch ohne Ergebnis. Wir werden später sehen, daß Fizean ein solches erzielte, ohne die Entfernung erheblich zu vergrößern, und zwar dadurch, daß er eine mechanische Vorrichtung ersann, welche einen gleichmäßigen Wechsel der Signale innerhalb des Bruchteils einer Sekunde ermöglichte.

Auch mit den magnetischen Erscheinungen hat sich Galilei, veranlaßt durch das Studium des Gilbertschen Werkes, eingehender beschäftigt. Galilei wurde dabei von dem Bestreben geleitet, den Magnetismus, auf dessen kosmische Bedeutung Gilbert zum ersten Male hingewiesen hatte, zur Erklärung astronomischer Erscheinungen zu verwerten. Betrachtungen über den Magnetismus bilden daher einen nicht unwesentlichen Teil seines großen Dialogs über die Weltsysteme[2]). Das erwähnte Bestreben offenbart sich z. B. darin,

---

[1]) Siehe an späterer Stelle.

[2]) „Dialog" Ausg. von Strauß S. 418—434 und an anderen Stellen.

daß er die unveränderliche Richtung der Erdachse aus der magnetischen Natur der Erde zu erklären sucht und darauf hinweist, daß der Mond „wie durch magnetische Kraft gebannt" stets ein und dieselbe Seite der Erde zukehre[1]). Gilbert ging darin noch weiter und suchte auch die Drehung der Erde um ihre Achse aus dem Magnetismus zu erklären. Er nahm an, daß jede magnetische Kugel, wenn keine Widerstände sie daran hindern, sich um sich selbst drehen müsse. Diese Ansicht vermochte der in mechanischen Dingen Gilbert weit überlegene Galilei indessen nicht zu teilen. Wohl aber erblickt er in den Bewegungen, welche die Erde nach der koppernikanischen Lehre ausführt, eine Analogie zu den Bewegungen des Magneten, der „in ähnlicher, vielleicht in derselben Weise" eine horizontale und eine vertikale Kreisbewegung (Deklination und Inklination) besitze[2]).

In der Erkenntnis, daß „der Magnet dem menschlichen Verstande ein weites Forschungsfeld" darbiete, hat sich dann Galilei auch mit der Tragkraft des Magneten, der Herstellung von Armaturen und ihrer Wirkung eingehender befaßt. Durch Armierung eines Magnetsteins verstärkte er seine Kraft auf das Achtfache. Als Grund dieser Erscheinung erklärt er den Umstand, daß die geglättete Armatur das angezogene Eisenstück in viel mehr Punkten berühre als die gröbere und rauhere Substanz des Magnetsteins. In einem anderen Falle[3]) will Galilei durch seine Armierung die Tragfähigkeit auf das Achtzigfache gesteigert und bewirkt haben, daß der Magnet 26mal soviel trug, als er Gewicht besaß.

Im vorstehenden haben wir die Verdienste Galileis um die Begründung der neueren Naturwissenschaft kennen gelernt und gesehen, wie überall das mathematische und induktive Verfahren durch diesen Mann zum Durchbruch kam. Fast sämtliche Gebiete der Naturlehre empfingen dadurch den kräftigsten Impuls. Und vor allem, das ganze Gebiet dieser Wissenschaft wurde von den Auswüchsen metaphysischer Betrachtungsweise, mit denen es vorher so sehr verquickt war, befreit. Galileis Eigenart entsprach es nämlich, daß er sich stets der Grenzen der Naturforschung bewußt blieb und sich darauf beschränkte, die Erscheinungen in ihrem Verlaufe und in ihrem Zusammenhange mit verwandten Vorgängen scharf zu erfassen, ohne in ein unfruchtbares Suchen

[1]) Dialog (Strauß) S. 70.
[2]) Dialog (Strauß) S. 278.
[3]) Dialog (Strauß) S. 424.

nach den letzten Gründen der Erscheinungen zu verfallen. Eine solche Beschränkung ist für die Erneuerung der Naturwissenschaft, wie sie im Beginn des 17. Jahrhunderts erfolgte, von höchstem Werte gewesen. Bevor wir uns dem weiteren Ausbau des von Galilei geschaffenen Lehrgebäudes zuwenden, scheint es geboten, auch der Persönlichkeit des einzigartigen Mannes gerecht zu werden.

Galilei war nach den Berichten seiner Zeitgenossen groß, stark gebaut und von ehrwürdigem Aussehen. (Siehe das Titelbild.) Die Stirn war hoch und die Augen voll Feuer, seine Rede angenehm und ausdrucksvoll. Dabei war er kein einseitiger Gelehrter. Die Erholungsstunden widmete er der Musik und der Malerei. Sogar einige Sonette sind von ihm vorhanden. Diese künstlerische Veranlagung Galileis kam in seinen Schriften dadurch zum Ausdruck, daß sie neben ihrer wissenschaftlichen Bedeutung sprachlich zu dem Vollendetsten gehören, was die italienische Literatur des 17. Jahrhunderts hervorgebracht hat. Gelehrte Unterhaltungen führte Galilei nur mit seinen Freunden; suchten Unberufene ihn in solche hineinzuziehen, so wußte er stets geschickt abzulenken.

Die gegen ihn gerichteten Verfolgungen setzten sich bis über das Grab hinaus fort. Sogar das letztere wurde ihm streitig gemacht. Erst ein Jahrhundert nach Galileis Tode wurde seinem letzten Wunsche gewillfahrt, indem man die irdischen Überreste des großen Forschers in der Kirche Santa Croce zu Florenz bestattete. Ein prächtiges Denkmal schmückt jetzt diesen Ort. Von gleicher Tragik war das Geschick der handschriftlichen Hinterlassenschaft Galileis. Von seinem Sohne sehr vernachlässigt, von seinem Enkel in einer skrupulösen Anwandlung zum Teil verbrannt, gelangte sie endlich in die Hände Vivianis, der Galilei die letzten traurigen Lebensjahre ertragen geholfen. Vivianis Absicht, diese Geistesschätze durch eine Herausgabe zu heben, wurde jedoch vereitelt. In Florenz, wo mit dem Enkel desjenigen Mediceers, der Galilei in seinem Lande eine Ehrenstätte bereitet hatte, Andächtelei und Priesterherrschaft den Thron bestiegen, war der Name des großen Mannes geradezu verhaßt geworden. Viviani sah sich schließlich in der Furcht, daß ihm auf obrigkeitlichen Befehl die Schriften abgenommen werden könnten, genötigt, sie einem Verstecke anzuvertrauen. Erst im nachfolgenden Jahrhundert wurden Galileis Manuskripte wieder entdeckt. Sie sollten schon als Makulatur in die Hände eines Krämers wandern, als man noch rechtzeitig ihren Wert erkannte und wenigstens einen Teil in die Bibliothek zu Florenz hinüberrettete.

4. Die Ausbreitung der induktiven Forschungsweise.

Der vorige Abschnitt war ausschließlich einer Darstellung und Würdigung der von Galilei geschaffenen Grundlagen der neueren Wissenschaft gewidmet. Es gilt jetzt zu zeigen, wie sich das neue Verfahren der Naturforschung in Italien und bald darauf auch in den nördlichen Ländern Europas ausbreitete.

Zunächst fand Galilei in Italien eine Anzahl begeisterter Schüler, die sein Werk fortsetzten, wenn ihnen meist auch nur ein weit bescheideneres Können verliehen war. Vivianis und seiner Bemühungen haben wir schon gedacht. Ferner ist Torricelli zu nennen, der vor allem zur Fortsetzung der Arbeiten Galileis berufen war. Beide Männer hatten während der qualvollen Monate, welche der Auflösung ihres Lehrers vorhergingen, mit diesem in unmittelbarem Verkehr gestanden und pietätvoll aufgezeichnet, was den unermüdlichen Geist während der letzten Spanne seines Erdenwallens beschäftigte. Sie umstanden mit den Angehörigen das Sterbebett, an welchem leider auch die Bevollmächtigten der Inquisition nicht fehlten. An Torricelli und Viviani schlossen sich eine Anzahl von gleichem Streben erfüllter Männer an. So entstand in Florenz ein Verein, der sich die Aufgabe stellte, die Natur auf dem Wege des Experimentes zu erforschen.

Unter den Mitgliedern dieser Accademia del Cimento (Schule des Versuches) sind folgende hervorzuheben: Der Anatom Borelli, welcher die Mechanik auf das Gebiet der Physiologie ausdehnte; der aus Dänemark gebürtige Steno, dessen Untersuchung der toskanischen Gebirge die neuere Geologie einleitete; ferner Redi, bekannt geworden durch seine Experimente über die Urzeugung; Domenico Cassini, der Galileis astronomische Arbeiten fortsetzte und später in Paris die Leitung der neu errichteten Sternwarte übernahm. Diese Männer, die uns im weiteren Verlaufe der Geschichte noch wiederholt begegnen werden, stellten gemeinsam in dem Zeitraum von etwa 1657 bis 1667

eine Fülle grundlegender, meist physikalischer Versuche an, ohne sich dabei von theoretischen Erwägungen leiten zu lassen. Zwar liegt darin eine gewisse Einseitigkeit und ein Abweichen vom Geiste Galileis, der nirgends zu einem bloßen Experimentator herabsinkt. Trotzdem war das Unternehmen der Akademiker bei dem damaligen Mangel sicherer empirischer Grundlagen ein höchst verdienstvolles.

Die Accademia del Cimento[1]) bestand nur zehn Jahre. Dann wurde sie infolge der in Florenz aufkommenden hierarchischen Strömung wieder aufgelöst. Gleichzeitig wurden jedoch die von ihren Mitgliedern erhaltenen Resultate bekannt gegeben.[2]) Da die betreffende Schrift für die weitere Entwicklung der experimentellen Physik von großer Bedeutung gewesen ist, so soll hier einiges daraus mitgeteilt werden. An die Spitze gestellt wird die Beschreibung und Gebrauchsanweisung wichtiger Meßinstrumente. Vor allem sind hier das Thermometer, das Hygrometer, das Aräometer und das Pendel in seiner Anwendung als Zeitmesser zu nennen.

Der umfangreichste Abschnitt trägt die Überschrift: Versuche über den natürlichen Druck der Luft. Er enthält die Beschreibung des Barometers und der zahlreichen im Vakuum angestellten Versuche.

Ein Abschnitt handelt von der Herstellung und Wirkung der Kältemischungen. Ein anderer enthält den ersten Versuch über Wärmestrahlung. Eine größere Eismasse wurde in einiger Entfernung von einem Hohlspiegel aufgestellt. Brachte man dann ein empfindliches Thermometer in den Brennpunkt des Spiegels, so sank die Quecksilbersäule unter die Temperatur der umgebenden Luft. Die weiteren Abschnitte handeln von der Ausdehnung der festen Körper durch die Wärme, von der Zusammendrückbarkeit des Wassers, der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles und des Lichts, dem Magnetismus, der Elektrizität und der Wurfbewegung. Die Akademiker zogen also alle Gebiete der Physik in den Bereich ihrer Versuche. Allerdings war der Erfolg sehr verschieden. Während man, wie wir sogleich im einzelnen sehen werden, auf dem Gebiete der Mechanik die wertvollsten Aufschlüsse

1) Akademie des Versuchs.

2) In den Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del Cimento, Florenz, 1667. Im Jahre 1731 wurden die „Saggi" in lateinischer Übersetzung von Musschenbroek herausgegeben: Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento.

erlangte, waren die Ergebnisse auf den Gebieten des Magnetismus und der Elektrizitätslehre fast belanglos.

Indem wir uns den wichtigsten Untersuchungen, Entwürfen und Entdeckungen der Florentiner Physiker zuwenden, reproduzieren wir zunächst in beistehender Abbildung 22 ein Gefäßbarometer in der zur Zeit der Akademie gebräuchlichen Form. Seine Graduierung wurde durch eingebrannte Glasperlen bewerkstelligt.

Daß die Quecksilbersäule vom Drucke der auf dem Quecksilberspiegel CBD bestehenden Luft getragen wird, bewiesen die Akademiker durch folgenden Versuch. Sie verbanden den kleinen, in der Abbildung links befindlichen, Ansatz luftdicht mit einer Spritze. Zogen sie den Kolben heraus, so sank das Quecksilber in der Röhre beträchtlich, wurde dagegen durch Hineindrücken des Kolbens auf die in dem weiten Gefäß befindliche Luft ein Druck ausgeübt, so stieg das Quecksilber entsprechend dem größeren auf CBD lastenden Gesamtdruck über A hinaus.



Abb. 22. Das in den Abhandlungen der Accademia del Cimento dargestellte Gefäßbarometer. (Musschenbroek. Tentamina experimentorum captorum in Accademia del Cimento. MDCCLVI. Tab. IX. Fig. 3.)

Der Apparat (Abb. 22) eignet sich auch vortrefflich, um die Abhängigkeit der Gasspannung von der Temperatur zu entdecken. Als die Florentiner Physiker nämlich den kleinen Tubulus hermetisch schlossen und die über dem Quecksilberniveau abgesperrte Luftmenge durch Eis abkühlten, bemerkten sie, daß das Quecksilber in der Röhre fiel, während es beim Erwärmen der abgeschlossenen Luft entsprechend der durch die Temperatursteigerung erzeugten Druckzunahme bedeutend stieg.

Um Versuche im Vakuum anzustellen, bedienten sich die Akademiker, in Ermangelung einer Luftpumpe, der in Abb. 23 dargestellten, ohne weiteres verständlichen Vorrichtung. Sie erweiterten den oberen Teil des Barometers zu einem Gefäß, welches durch einen Deckel luftdicht geschlossen werden konnte. An diesem Deckel wurden Gegenstände befestigt und deren Verhalten untersucht, nachdem man in dem Apparat die Torricellische Leere in der bekannten Weise hergestellt hatte. So wurde z. B., wie die Abbildung andeutet, eine nur wenig Luft enthaltende, zugebundene Blase an dem Deckel befestigt und erkannt, daß sie infolge einer der Luft zukommenden Expansivkraft im Vakuum anschwillt. Durch einen ähnlichen Versuch wurde nachgewiesen, daß das Steigen von Flüssigkeiten in engen Röhren



Abb. 23. Vorrichtung der Akademiker, um Versuche im Vakuum anzustellen [1]).

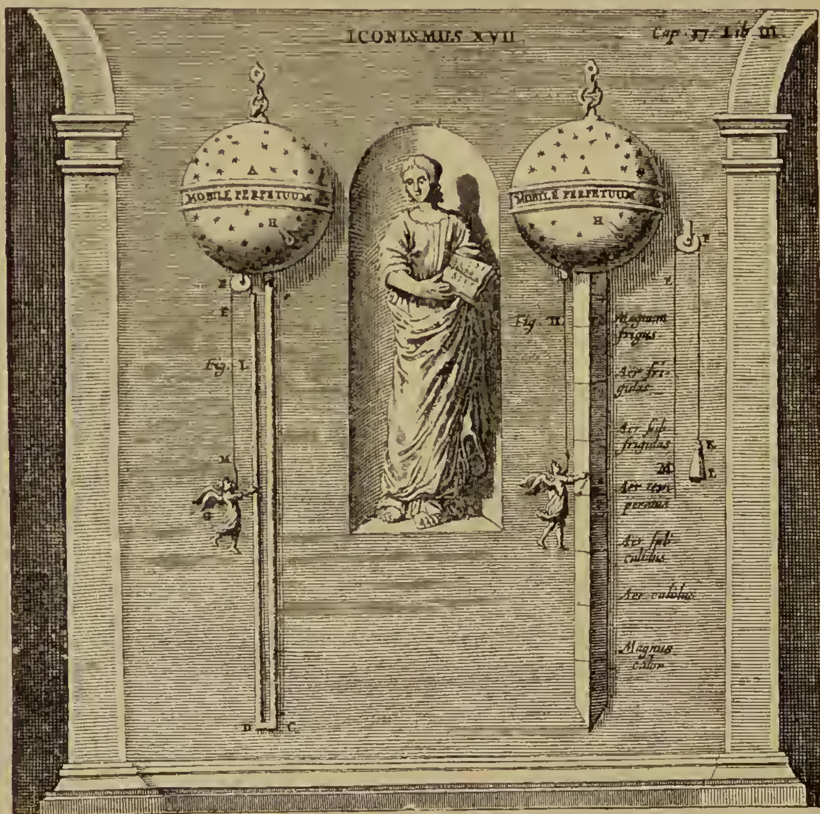


Abb. 24. Guerickes Thermoskop [2]).

1) Abbildung aus Musschenbroeks Bericht über die Versuche der Accademia del Cimento.

2) Guerickes, Experimenta nova ut vocantur Magdeburgica, Cap. 37.

auch im Vakuum stattfindet, also mit dem Luftdruck in keiner Beziehung steht.

Die Mitglieder der Akademie stellten auch das erste wirkliche Thermometer her. Das von Galilei zum Messen der Temperatur gebrauchte Instrument war nur ein Thermoskop, d. h. es zeigte nur ein Mehr oder Minder von Wärme an. Auch machte sich daran jede Schwankung des Luftdrucks bemerkbar.

Ähnliche Thermoskope erfanden auch Guericke und Drebbel. Guerickes Apparat bestand aus einer mit Luft gefüllten Metallkugel, an die sich unten eine U förmig gebogene, zur Hälfte mit Flüssigkeit gefüllte Röhre anschloß (Abb. 24). In dieser Röhre befand sich ein Schwimmer, der wieder durch einen über eine Rolle geschlungenen Faden, wie die Abbildung zeigt, mit einer schwebenden Figur verbunden war. Letztere bewegte sich auf- und abwärts in dem Maße, in welchem die Flüssigkeit, entsprechend den durch Temperaturschwankungen hervorgerufenen Volumänderungen der in der Kugel eingeschlossenen Luft fiel und stieg.

Eine ähnliche Vorrichtung, bei welcher eine Flüssigkeit durch die Temperaturschwankungen eines mit Luft gefüllten Gefäßes zum Steigen und Fallen gebracht wurde, verfertigte Drebbel.[1]) Drebbel bezeichnete seinen Apparat als ein Perpetuum mobile und suchte den Glauben zu erwecken, daß es sich hier um eine der Ebbe und Flut des Meeres entsprechende Erscheinung handle.[2]) Galilei erhielt im Jahre 1612 Kenntnis von dem Apparate Drebbels, der bis in die neuere Zeit hinein für den Erfinder des Thermometers gegolten hat. Ein wirkliches Thermometer, das vom Wechsel des Luftdruckes nicht merklich beeinflußt wurde, war erst das Instrument, dessen sich die Accademia del Cimento bei ihren Untersuchungen bediente (S. Abb. 25). Höchst wahrscheinlich waren Galilei und Drebbel, ohne von einander zu wissen, zur selben Vorstufe gelangt[3]). Wem dagegen die Erfin-

[1]) Cornelius Drebbel wurde geboren zu Alkmar 1572. Nach einem wechselvollen Leben gelangte er nach England an den Hof Jakobs I. Dort starb er 1634. Drebbel war ein Physiker von dem Schlage Portas und Kirchers. Seine magisch-physikalischen Versuche beschrieb er in seinem Traktat von der Natur der Elemente.

[2]) Über Drebbels Apparat, sowie über die Vorgeschichte des Thermometers im allgemeinen hat E. Wohlwill in den Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften berichtet. Jahrg. 1902. Heft 1—4.

[3]) In seiner Abhandlung „Neue Beiträge zur Vorgeschichte des Thermometers“ macht Wohlwill es wahrscheinlich, daß die Erfindung dieses Instrumentes in den Niederlanden ganz unabhängig von derjenigen in Italien

dung des eigentlichen Thermometers zu verdanken ist, weiß man nicht. Das Instrument wurde schon 1641, also vor der Gründung der Akademie in Italien gebraucht. Die grundsätzliche Neuerung, um deren Zustandekommen sich vielleicht mehrere Physiker der Florentiner Schule verdient gemacht haben, bestand darin, daß die Kugel und die Röhre luftleer gemacht und letztere oben durch Siegellack und später durch Zuschmelzen hermetisch geschlossen wurde. Auf diese Weise war der Luftdruck, der bei den Apparaten Galileis, Drebbels und Guerickes neben den Temperaturveränderungen die Schwankungen der Flüssigkeit veranlaßte, gänzlich ausgeschlossen.

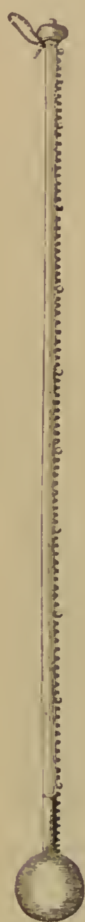


Abb. 25. Das in den Abhandlungen der Accademia del Cimento dargestellte Thermometer (Musschenbroek, Tentamina Tab. I, Fig. 1).

Als Flüssigkeit, deren Ausdehnung zum Messen der Wärme diente, benutzte man Weingeist. Die Skala besaß zwar hundert Teile; doch waren die Angaben sehr schwankend, da man keine festen, leicht bestimmbaren Punkte zugrunde legte, sondern für die niedrigste, sowie die höchste in Toskana beobachtete Temperatur gewisse Punkte der Skala festsetzte. Erst nach der Auflösung der Akademie brachte eins ihrer Mitglieder[1]) die noch heute gebräuchlichen Fundamentalpunkte, nämlich den Schmelzpunkt und den Siedepunkt des Wassers, in Vorschlag. Die Verfertigung der Thermometer wird in den Abhandlungen der Accademia del Cimento mit folgenden Worten beschrieben: „Zunächst hat der Glasbläser eine Kugel von geeigneter Größe herzustellen und ihr eine Röhre anzufügen. Die Füllung geschieht dann folgendermaßen. Die Kugel wird erhitzt und dann plötzlich das offene Ende der Röhre in Weingeist getaucht, welcher langsam hineinsteigt. Das letzte Nachfüllen wird mit einem Trichter besorgt, der einen ganz dünn ausgezogenen Hals besitzt. Das Rohr wird vorher in gleiche Teile geteilt und jeder Teilstrich durch eine eingebrannte, weiße Glasperle bezeichnet. Dann wird, indem man das Thermometer

erfolgte. (Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften, 1902. Nr. 4.)

1) Renaldini, Philosophia naturalis 1694 III, 276. Nach Gerland hat Huygens zum erstenmal, und zwar schon 1665, den Vorschlag gemacht, den Schmelzpunkt und den Siedepunkt des Wassers als Fundamentalpunkte zu benutzen (Zeitschrift für Instrumentenkunde XIII, 390. 1893.)

abkühlt und es darauf erwärmt, die erforderliche Menge Weingeist genau bestimmt und endlich die Röhre, nachdem der Weingeist den gewünschten höchsten Stand erreicht, hermetisch geschlossen". Weitere Versuche betrafen die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren und seine Zusammendrückbarkeit. Man füllte ein metallenes Gefäß[1]) mit Wasser, verschloß das Gefäß und brachte es in eine Kältemischung, deren Anwendung zu wissenschaftlichen Zwecken gleichfalls ein Verdienst der Akademie ist. Die Ausdehnung des Wassers bei seiner Umwandlung in Eis erfolgte mit solch unwiderstehlicher Gewalt, daß das Gefäß zersprang, ein Versuch, der bekanntlich in den Bestand der Vorlesungsversuche des heutigen Physikunterrichtes übergegangen ist.

Auch das Maß dieser Ausdehnung bestimmten die Akademiker, und zwar fanden sie, daß sich das Wasser beim Gefrieren im Verhältnis von 8 : 9 ausdehnt. Ihre Kältemischung stellten sie aus Schnee her, dem sie Kochsalz, Salpeter oder Salmiak beimengten.

Daß sich beim Auflösen von Salpeter die Temperatur erniedrigt, war wohl schon im 16. Jahrhundert bekannt geworden. Als merkwürdig und unerklärlich erwähnt Descartes die Kältemischungen aus Salz und Schnee in seiner Schrift über die Meteore[2]). An den Nachweis, daß das Wasser sich auszudehnen vermag, mußte sich die Frage knüpfen, ob diese Flüssigkeit auch zusammengedrückt werden kann. Um darüber eine Entscheidung herbeizuführen, schloß man Wasser in eine silberne Kugel und suchte deren Form durch Pressen und Hämmern zu verändern.[3]). Dabei bedeckte sich ganz wider Erwarten die Kugel mit Wasser (s. Abb. 26), welches offenbar durch das Silber hindurchgepreßt worden war.



Abb. 26. Versuch der Akademiker über die Zusammendrückbarkeit des Wassers[4]).

Wie Galilei, so mühten sich auch die Akademiker ab, die Schall- und Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen. Ihr Verfahren,

[1]) Abschnitt III der Abhandlungen der Accademia del Cimento. Florenz 1667.

[2]) Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Leipzig 1906.

[3]) Abschnitt IV der „Saggi".

[4]) Abbildung aus Musschenbroek: Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento.

die erstere zu messen, bestand darin, daß sie die Zeit, welche zwischen dem Aufblitzen und dem Knall eines entfernten Geschützes verfließt, durch Pendelschwingungen ermittelten. Auf die Temperatur der Luft wurde hierbei noch keine Rücksicht genommen. Ihr Ergebnis, 1111 Par. Fuß in der Sekunde, kam dem wahren Werte näher als die früheren Bestimmungen. Indessen glaubten die Akademiker irrigerweise aus den von ihnen erhaltenen Werten schließen zu dürfen, daß der Wind auf die Schallgeschwindigkeit keinen Einfluß habe.

Die Bemühungen, die Lichtgeschwindigkeit zu ermitteln, konnten, da man noch zu keiner neuen Methode gelangt war, sondern das von Galilei vorgeschlagene Signalverfahren benutzte, zu keinem Ergebnis führen.

Endlich sei noch erwähnt, daß die Akademie manchen Satz, den Galilei nur ausgesprochen, aber noch nicht auf seine Richtigkeit geprüft hatte, durch das Experiment erhärteten. So wurde eine Kugel von einem hohen Turme horizontal fortgeschossen, während man gleichzeitig eine gleich große Kugel von demselben Standort frei herabfallen ließ. Es zeigte sich, daß beide Kugeln, wie Galilei behauptet, zur gleichen Zeit zur Erde gelangten.

Einige Überreste des physikalischen Apparats, den die Akademiker für ihre Versuche geschaffen, finden sich noch in Florenz [1]). Die Akademie selbst, die sich mit unvergänglichem Ruhm bedeckt hat, wurde schließlich auf Betreiben der römischen Kurie aufgelöst. Zum Glück war religiöse Unduldsamkeit nicht mehr imstande, die Fackel der Wissenschaft zum Erlöschen zu bringen. Fast zur selben Zeit als die Florentiner Akademie aufgelöst wurde, entstanden nämlich nach ihrem Vorbilde die großen Akademien in London und Paris, die ihre glorreiche Laufbahn bis auf den heutigen Tag fortgesetzt haben und nebst zahlreichen Schwestergesellschaften Hochburgen wissenschaftlicher, von keinerlei Rücksichten gehemmter Forschung bilden.

Mit optischen Dingen hat sich unter den Mitgliedern der Akademie besonders Torricelli beschäftigt. Er stellte winzige Glaskügelchen her und lehrte sie als einfache Mikroskope von bedeutendem Vergrößerungsvermögen gebrauchen. Er befaßte sich ferner mit geometrischen Untersuchungen über die Wirkung der Linsen und konstruierte Teleskope, welche diejenigen Galileis

[1]) Gerland, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina. Halle 1882.

übertrafen[1]). Aber nicht nur die Schüler und die Anhänger Galileis beschritten eifrig den Weg des Versuches, sondern auch seine Gegner, die ihm besonders aus der Ecclesia militans erstanden, verfolgten häufig denselben Weg. Es war immerhin ein Zugeständnis dieser Kreise an den Geist der neueren Zeit, daß man nicht mehr, wie in früheren Jahrhunderten, den Bannstrahl und scholastisches Gezänke für ausreichend hielt, um das Emporkommen neuer Wahrheiten zu unterdrücken. Ein solcher Gegner Galileis und der koppernikanischen Lehre war der Jesuit Riccioli, der sich, trotz dieser Gegnerschaft, um die Astronomie und die Mechanik Verdienste erworben hat.

Giovanni Battista Riccioli (1598—1671) unternahm es, in Gemeinschaft mit Grimaldi, die Gesetze des Falles, welche von Galilei nur für die schiefe Ebene experimentell nachgewiesen waren, für den freien Fall zu prüfen. Beide Männer ließen um 1640 von einem Turm Kugeln aus verschiedener Höhe herabfallen und maßen, während der eine oben, der andere unten stand, die Zeit. Um letztere zu messen, bedienten sie sich kleiner Pendel, welche 6 Schwingungen in der Sekunde machten. Riccioli unternahm seine Versuche in der Absicht, Galilei zu widerlegen und selbst das wahre Gesetz des Falles zu finden. Um die Werke Galileis lesen zu können, mußte er die Erlaubnis seiner Oberen einholen, da Galileis Schriften von der Kongregation verboten waren. Riccolis Ergebnisse gibt folgende Tabelle wieder:

Anzahl der Pendel-schwingungen	Fallhöhe in Fuß	Fallraum in gleichen Zeiten	Verhältnis der Fallstrecken
5	10	10	1
10	40	30	3
15	90	50	5
20	160	70	7
25	250	90	9

Ricciolis und Grimaldis Fallversuche entsprachen also vollkommen dem von Galilei für den Fall über die schiefe Ebene gefundenen, für den freien Fall aber noch nicht bewiesenen Gesetz. Es macht dem Charakter beider Forscher alle Ehre, daß sie ihre

[1]) Eines dieser Instrumente befindet sich noch heute im physikalischen Museum zu Florenz.

eigene Niederlage unumwunden eingestanden und die Anhänger Galileis selbst von den Versuchsergebnissen in Kenntnis setzten.

Spätere Versuche Ricciolis bezweckten, den Einfluß der Luft auf fallende Körper zu ermitteln. Schon Galilei hatte den Widerstand der Luft für größere Geschwindigkeiten als recht erheblich angenommen und zum Beweise dieser Annahme einen Versuch vorgeschlagen, den aber erst die Mitglieder der Accademia del Cimento zur Ausführung brachten. Galilei schlug vor, man solle eine Flintenkugel aus einer Höhe von 100 Ellen senkrecht auf eine Eisenplatte herab schießen und diesen Versuch in einer Entfernung von wenigen Ellen wiederholen. Es sei wahrscheinlich, daß im ersteren Falle die Kugel infolge der längeren Wirkung des Luftwiderstandes mit geringerer Geschwindigkeit auf das Eisen treffe als im zweiten, obgleich bei dem Schuß aus größerer Entfernung die durch das Pulver erhaltene Geschwindigkeit durch den Fall noch wesentlich vergrößert werde. Ob diese Vermutung richtig sei, müsse sich an der größeren oder geringeren Formveränderung der Kugel ergeben. Die Akademie fand diese Vermutung bestätigt, denn die aus großer Höhe herabgeschossene Kugel war weniger verletzt, als die aus geringer Höhe herabgeschossene[1]).

Bemerkenswert sind auch Ricciolis Versuche über diesen Gegenstand. Er stellte zwei Tonkugeln von gleichem Gewicht her, von denen die eine massiv war und 10 Zoll Durchmesser besaß, während die andere Kugel hohl war und einen Durchmesser von 20 Zoll hatte. Beide Kugeln ließ Riccioli von der Höhe des Campanile zu Bologna herabfallen. Dabei zeigte es sich, daß die massive Kugel die 280 röm. Fuß betragende Strecke in 3,2 Sekunden durchlief, während die hohle 4,2 Sekunden brauchte. Ferner stellte Riccioli Fallversuche mit Kugeln von Blei, Ton, Wachs und Holz an und beobachtete, daß der spezifisch schwerere Körper schneller als der spezifisch leichtere fällt.

Riccioli war zwar ein Gegner des koppernikanischen Systems. Er hat sich aber um die Astronomie trotzdem verdient gemacht, indem er unter dem Titel Almagestum novum 1651 eins der bedeutendsten, ein reiches Detail an Tatsachen bietendes Sammelwerk der astronomischen Wissenschaft herausgab.

Neben Riccioli ist unter den Italienern, welche im 17. Jahr-

1) Benzenberg, Versuche über das Gesetz des Falles, über den Widerstand der Luft und über die Umdrehung der Erde. Dortmund 1804. S. 101.

hundert den Weg des Experiments beschritten, vor allem Grimaldi, Ricciolis Ordensbruder, zu nennen.

Francesco Maria Grimaldi wurde 1618 in Bologna geboren, wirkte dort als Lehrer der Mathematik und starb 1663. Grimaldi war ein sehr gelehrter Mann und ein hervorragender Beobachter. Sein Hauptgebiet war die Optik, in die er tiefer einzudringen verstand als irgend jemand vor ihm. Das Werk, in welchem Grimaldi seine Beobachtungen und Lehren über diesen Gegenstand zusammenfaßte, erschien erst einige Jahre nach seinem Tode unter dem Titel Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride [2]). In diesem Werke findet sich nicht nur die erste Beschreibung des durch ein Prisma erzeugten Sonnenspektrums [3]), es wird darin auch über merkwürdige Erscheinungen berichtet, welche dem Gesetz der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu widersprechen schienen, und mit dem Namen der Beugung belegt wurden.

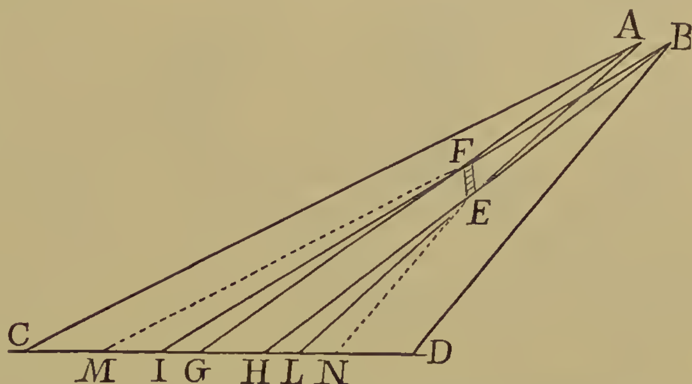


Abb. 27. Grimaldis Nachweis der Beugung des Lichtes [1]).

Grimaldi ließ Sonnenlicht durch eine feine Öffnung in ein dunkles Zimmer fallen und brachte in das so erhaltene Lichtbündel einen undurchsichtigen Körper (siehe Abb. 27). Fing man vermittelst eines Schirmes C D den Schatten auf, so besaß dieser eine größere Breite (M N), als der Konstruktion entsprach. Ferner war der Schatten von farbigen Streifen umgeben, die seiner Begrenzung parallel liefen und sich

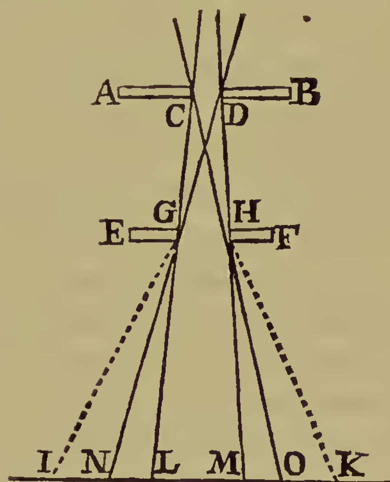


Abb. 28. Grimaldi beobachtet die Beugung an einem Lichtkegel.

[1]) Physico-Mathesis, S. 2.
[2]) Bologna 1665.
[3]) l. c. S. 235 u. f.

auch in das Innere des Schattens erstreckten. Ließ Grimaldi durch die Öffnungen C D und G H (siehe Abb. 28) einen Lichtkegel fallen, der von einem Schirm J K aufgefangen wurde, so besaßen die Grundflächen dieses Kegels nicht den Durchmesser N O, welchen die geometrische Konstruktion auf Grund der gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes fordert, sondern einen größeren Durchmesser J K.

Diese Erscheinungen, insbesondere die zuerst beschriebene, die offenbar mit der infolge der Brechung auftretenden Farbenzerstreuung nicht identisch ist, veranlaßte Grimaldi, das Licht als eine wellenförmige Bewegung zu betrachten. „Wie sich um einen Stein, den man ins Wasser wirft, kreisförmige Wellen bilden“, sagt er, „ebenso entstehen um den Schatten des undurchsichtigen Gegenstandes jene glänzenden Streifen. Und so wie jene kreisförmigen Wellen nichts anderes sind als angehäuftes Wasser, um das sich eine Furche hinzieht, so sind auch die glänzenden Streifen nichts anderes als das Licht selbst, das durch eine heftige Zerstreuung ungleichmäßig verteilt und durch schattige Intervalle getrennt wird. So wie endlich die kreisförmigen Wasserwellen breiter werden, wenn sie sich von der Quelle ihrer Erregung entfernen, ebenso bemerken wir dasselbe an den glänzenden Streifen, je weiter sie von dem Anfange ihrer Erregung abstehen“ [1]).

Wir finden hier die erste Andeutung der Undulations- oder Wellentheorie des Lichtes, welche in der neuesten Zeit zur vollen Geltung gelangte, da sie nicht nur sämtliche Lichterscheinungen erklärte, sondern in manchen Fällen sogar neue, bisher nicht gekannte Phänomene vorherzusagen gestattete.

Der Gedanke, daß das Licht aus einer feinen Flüssigkeit bestehe, die in wellenförmiger Bewegung begriffen sei, kehrt in Grimaldis Ausführungen immer wieder. Auch die wichtige Beobachtung, daß „Licht zu Licht addiert“, wie es später bei Arago lautet, Finsternis geben kann, hat Grimaldi zuerst gemacht: „Ein erleuchteter Körper kann dunkel werden“, sagt er [2]), „wenn zu dem Lichte, das er empfängt, noch neues Licht hinzutritt“. In dem Laden eines verdunkelten Zimmers wurden zwei Löcher angebracht, durch welche Licht fiel. Jeder Lichtkegel gab für sich auf dem weißen Schirm einen hellen, gegen die Ränder rötlichen Fleck. Ließ Grimaldi nun die Lichtkegel teilweise über-

1) Physico-Mathesis, S. 8.

2) Physico-Mathesis, Propos. XXII.

einander greifen, (s. Abb. 29) so fand er, daß die Kreisbögen, welche den hellen Mittelraum des von den übergreifenden Rändern eingeschlossenen Stückes begrenzen, dunkel erschienen. Durch diese Versuche war die Interferenz des Lichtes entdeckt. Auf den Gedanken, das weiße Licht aus farbigem zusammenzusetzen, ist Grimaldi noch nicht gekommen. Durch weitere Versuche hat er aber dargetan, daß weißes Licht durch bloße Reflexion, wie er sich ausdrückt, in farbiges Licht verwandelt werden könne. Zu diesem Zwecke, ließ Grimaldi[1]) das Sonnenlicht auf eine feingeritzte Metallplatte und von dort auf einen Schirm fallen. Es zeigten sich durch Beugung entstandene farbige Streifen. Wir begegnen also schon hier an der Schwelle der neueren Physik dem Verfahren, mittelst dessen heute die Gitter zur Erzeugung eines Beugungspektrums hergestellt werden.

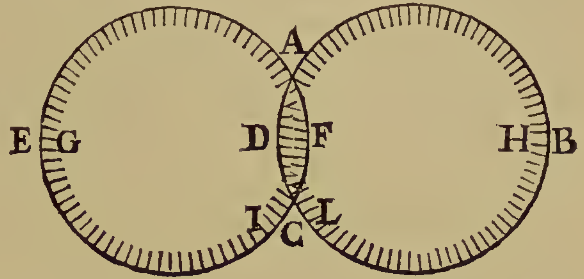


Abb. 29. Grimaldi entdeckt die Interferenz des Lichtes.

Grimaldi selbst hat aus dem Verhalten seiner geritzten Platte gegen das Licht schon die im Tierreich an Federn, Insektenflügeln usw. so häufig vorkommenden Schillerfarben zu erklären gesucht, eine Untersuchung, welche die neuere Zoologie wieder aufnahm und die Brücke[2]) zu einem gewissen Abschluß brachte.

Der zuletzt erwähnte Versuch mußte in Grimaldi schon die Überzeugung wachrufen, daß die Farben Bestandteile des weißen Lichtes und nicht etwas den Körpern Eigentümliches sind. Die Farben, sagt er wiederholt, seien nichts vom Lichte Verschiedenes, das etwa in den farbigen Körper ohne die Gegenwart des Lichtes vorhanden wäre. Die Ursache der Körperfarben erblickt Grimaldi vielmehr in dem, was wir heute den molekularen Bau der Körper nennen würden. Er meint nämlich[3]), ihre Ursache beruhe wahrscheinlich auf der Lage der Poren, also in dem Gefüge der Stoffe, wodurch gerade diejenige Farbe, welche dem betreffenden Körper eigentümlich sei, zurückgeworfen werde. Die Farbe selbst, so führt er weiter aus, ist danach eine

[1]) Physico-Mathesis, Propos. XXIV. S. 231.
[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 43.
[3]) Grimaldi, Physico-Mathesis. Propos. XLII.

durch die Natur des reflektierenden Körpers hervorgerufene Modifikation des Lichtes und besteht wahrscheinlich in einer Änderung der Bewegungsform und der Geschwindigkeit des Lichtstoffes. Wie die Töne durch die Verschiedenartigkeit der Luftschwingungen hervorgerufen würden, so würden auch die Farben dadurch erzeugt, daß das Auge von Erzitterungen des Lichtstoffes getroffen werde, deren Geschwindigkeit verschieden groß sei und so die Unterschiede der Farben bedinge. Alles das sind Anschauungen, welche für die weitere Entwicklung der Optik grundlegend gewesen sind.

Daß Grimaldi zwischen der Auffassung, ob das Licht stofflicher Natur sei oder in einem reinen Bewegungsvorgang bestehe, noch nicht scharf genug zu unterscheiden vermochte, tut dem Werte seiner Versuche keinen und dem Werte der an diese Versuche geknüpften Lehren nur geringen Abbruch[1]). Man findet daher bei den bedeutendsten Physikern des 17. Jahrhunderts, vor allem bei Hooke und Newton, manche Spuren seiner Anregungen, wenn auch beide diese Anregungen in ihren Werken nicht immer registrieren[2]).

Nicht nur in Italien, sondern auch in den übrigen Kulturländern hatte das induktive Verfahren Wurzel geschlagen. Teils unabhängig von Galilei und seiner Schule, teils angeregt von dieser, erstand eine stetig wachsende Schar von Forschern, welche die Unfruchtbarkeit der alten Methode erkannten und mit vereinbarten Kräften die Naturwissenschaften in das neue Fahrwasser hinüberzulenken strebten. Während in Italien diese Wissenschaften durch das Verhalten der in mittelalterlicher Denkweise beharrenden Kreise, wenn auch nicht unterdrückt, so doch in hohem Grade gehemmt wurden, erwies sich im Verlauf des 17. Jahrhunderts der Boden Englands und Deutschlands für ihre Entwicklung besonders günstig. In diesen Ländern waren durch die Reformation die Fesseln des blinden Autoritätsglaubens gesprengt worden. Zwar wurde diese Bewegung bald durch neue Schranken eingedämmt. Eine tiefgehende Wirkung blieb aber dennoch nicht aus. Sie trat auch in den Geisteserzeugnissen jener Zeit zutage. In England ging dieser Befreiung seit dem Zeitalter Elisabeths auch eine Neugestaltung der gesamten

---

1) Im ersten Buche seiner Physico-Mathesis sucht Grimaldi in 60 Propositionen darzutun, daß das Licht substantiell sei, im zweiten spricht er sich in einer Reihe von Propositionen für die Akzidentalität des Lichtes aus.

2) Rosenberger, Newton und seine Prinzipien. S. 27.

Lebensverhältnisse, sowie eine Ausdehnung des Gesichtskreises und des Machtbereiches parallel, welche eine in diesem Lande nie vorher in solchem Maße gesehene Entfaltung aller Kräfte zur Folge hatten. „Unter den Waffen", sagt der Geschichtsschreiber dieser Periode[1]) „wuchs der Handel. Die Erhaltung des Friedens im Innern erfüllte das Land mit Wohlstand und Reichtum; man sah Paläste aufsteigen, wo sonst nur Hütten gestanden hatten". Hier war es, wo damals das Wort „Wissen ist Macht"[2]) erklang. Und daß dieses Wort seitdem gewürdigt wurde, ist eine der Ursachen von Englands Emporblühen gewesen, das, wie Bacon es einmal ausdrückte, seine natürliche Stellung in der Welt gewann.

Die bedeutendste Erscheinung, die uns zu Beginn der neueren Zeit auf dem Boden Englands begegnet, ist Gilbert. Ihm verdanken wir die erste wissenschaftliche Behandlung der elektrischen und der magnetischen Erscheinungen. Das Ergebnis seiner Untersuchungen hat Gilbert in dem Werke[3]) „Über den Magneten" niedergelegt. William Gilbert wurde in Colchester im Jahre 1540[4]) geboren. Er lebte seit 1573 als Arzt in London und wurde von der Königin Elisabeth zu ihrem Leibarzt ernannt. Er starb in London im Jahre 1603.

Zu seinen Untersuchungen wurde Gilbert durch die Lektüre der Magia naturalis Portas, besonders aber durch den Umstand angeregt, daß die Magnetnadel und der Erdmagnetismus für die Schiffahrt von solch außerordentlicher Bedeutung geworden waren. Während aber Porta seine Darstellung der physikalischen Erscheinungen noch mit phantastischem und abenteuerlichem Beiwerk vermengte, sehen wir Gilbert gleich Galilei den Weg der von Vorurteilen und unbegründeten Voraussetzungen absehenden, auf Versuche sich aufbauenden Forschung betreten. Das Ergebnis dieser Bemühungen war ein wissenschaftliches, die Grundlagen für ein weites Gebiet enthaltendes Werk, mit dessen Inhalt wir

---

1) L. v. Ranke, Englische Geschichte im 17. Jahrhundert. I, 324.

2) Ein Ausspruch Bacons: „Scientia est potentia."

3) Gilbert, Physiologia nova de magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure, London 1600. Auch in Deutschland erschienen mehrere Ausgaben, so in Stettin 1628 und 1633, sowie in Frankfurt a. M. 1629. Eine biographische Skizze über Gilbert veröffentlichte F. M. Feldhaus. Winters Universitätsbuchhandlung. Heidelberg 1904.

4) Nach anderen Angaben 1544. Siehe Mitteilungen z. Gesch. d. Modiz. und Naturw. 1904. (Bd. III. Heft 1 u. 2.) S. 115.

uns der Hauptsache nach bekannt machen wollen. Gilbert gebrauchte für seine Versuche kräftige Magnetsteine von geeigneter Größe und gab ihnen die Kugelform. „Der so geformte Stein“ sagt er, „ist das getreue und vollkommene Ebenbild der Erde; wir wollen ihn daher Terrella [1]) nennen“.

Um die Pole des Magneten zu finden, nahm er ihn in die Hand und legte einen dünnen Eisendraht über den Stein. Den Stein bezeichnete er dort, wo der Draht haftete, mit Kreide. Darauf brachte er die Mitte des Drahtes an eine andere Stelle, sowie an eine dritte und vierte, und versah jedesmal den Stein in der Längsrichtung des Drahtes mit einem Striche. „Diese Striche“, sagt Gilbert, „werden den Meridianen vergleichbare Linien auf der Terrella darstellen. Und es wird sich deutlich zeigen, daß sie in den Polen des Magnetsteins zusammenlaufen.“ In gleichem Abstande von diesen Polen ließ sich dann ein größter Kreis ziehen, der dem Äquator entsprach.

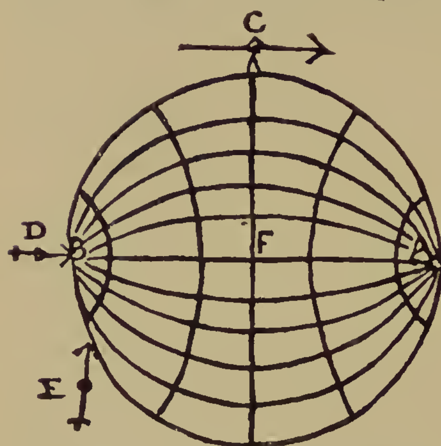


Abb. 30. Die Pole eines kugelförmigen Magneten aufzufinden. (Aus Gilbert, de magnete.)

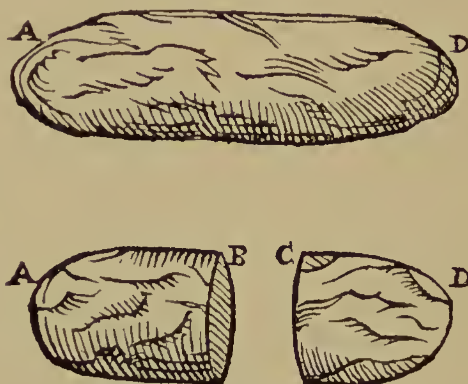


Abb. 31. Die Teilung eines Magneten. (Aus Gilbert, de magnete.)

Ein anderes Verfahren, die Pole aufzufinden, besteht nach Gilbert darin, daß man sich einer Magnetnadel bedient, die mit einer Vertiefung versehen und auf der Spitze einer Nadel so angebracht ist, daß sie sich frei bewegen kann. Diese Vorrichtung wird so auf den Stein A B in C gestellt, daß sich die Nadel im Gleichgewicht befindet (Abb. 30). Darauf wird die Richtung der ruhenden Nadel mit Kreide bezeichnet, dann das Instrument auf eine andere Stelle gebracht und die Richtung wieder vermerkt. Geschieht

[1]) Ein auf Deutsch schlecht wiederzugebendes Diminutiv von Terra, die Erde.

dies an recht vielen Stellen, so wird man aus dem Zusammenlauf der Linien den einen Pol an dem Punkte A, den andern bei B finden. Den Pol selbst zeigt die dem Steine genäherte Nadel dadurch an, daß sie sich rechtwinklig zur Oberfläche einstellt und auf den Pol und somit nach dem Mittelpunkt des Steines hinweist.

Für seine Versuche über die Teilung des Magneten wählte Gilbert einen länglichen Magnetstein A D, mit dem Nordpol A und dem Südpol D, und teilte ihn in zwei gleiche Teile. Darauf ließ er den Teil A B in einem Gefäß auf Wasser schwimmen. Er bemerkte, daß der Nordpol A nach Süden zeigte und D nach Norden. B und C aber, die vorher miteinander verbunden gewesen, waren jetzt zum Nord- und Südpol geworden. Der Südpol B zog den Nordpol C an. „War kein Hindernis vorhanden und das Gewicht aufgehoben, wie es auf der Oberfläche des Wassers der Fall ist, so näherten sich diese Pole und vereinigten sich. Näherte man jedoch den Pol A dem Pole C des anderen Steines, so flohen sie einander".

Von den magnetischen Erscheinungen wußte Gilbert die elektrischen wohl zu unterscheiden, während vor ihm in dieser Hinsicht eine große Unklarheit herrschte. Bisher kannte man die elektrische Anziehung fast nur am Bernstein. Durch Gilberts Versuche wurde bewiesen, daß sich diese Kraft auf alle festen Substanzen und sogar auf Flüssigkeiten erstreckt. Tropfen, denen Gilbert elektrisierte Körper näherte, erhoben sich auf ihrer Unterlage. Die Einwirkung der Elektrizität auf Metalle stellte Gilbert fest, indem er diese in der Form leicht beweglicher Nadeln anwandte und zeigte, daß sie von elektrisierten Körpern angezogen werden. Daß zwischen den letzteren auch eine Abstoßung stattfindet, ist von Gilbert übersehen worden. Ganz unbekannt blieb ihm die elektrische Abstoßung jedoch nicht, da er wenigstens die Beobachtung machte, daß die Flamme sich von einem elektrisierten Körper fortbewegt. Auch der Name Elektrizität (vis electria) rührt von Gilbert her.

Er elektrisierte außer dem Bernstein Diamant, Saphir, Rubin, Opal, Amethyst, Beryll, Bergkristall, Schwefel und Harz. Er wies nach, daß alle diese Substanzen nicht nur Spreu anziehen, sondern auch sämtliche Metalle, Holz, Blätter, Steine, Erde, sogar Wasser und Öl, kurz „alles, was durch unsere Sinne wahrgenommen werden kann". Um aber durch Versuche festzustellen, wie diese Anziehung stattfindet und welches die Stoffe sind, die alle Körper auf solche Weise anziehen, richtete er sich einen 3—4 Zoll langen

Zeiger aus irgend einem Metall her und brachte diesen auf der Spitze einer Nadel, ähnlich wie bei einem Kompaß, leicht beweglich an. Näherte er nun diesem Zeiger Bernstein oder Bergkristall, nachdem er sie gerieben hatte, so geriet der Zeiger sofort in Bewegung.

Der Magnet, bemerkt Gilbert, äußere seinen Magnetismus ohne vorhergegangenes Reiben, sowohl im trockenen als im feuchten Zustande, in der Luft wie im Wasser, ja selbst, wenn die dichtesten Körper, seien es Platten aus Holz und Stein oder Scheiben aus Metall, dazwischen gebracht seien. „Der Magnet wirkt aber nur auf magnetische Körper, während elektrische Substanzen alles anziehen. Auch vermag der Magnet bedeutende Lasten zu tragen, während der elektrisierte Körper nur sehr kleine Gewichte anzuziehen vermag [1]."

Die magnetischen Erscheinungen waren infolge der Verwendung, welche die Boussole seit dem 12. Jahrhundert in Europa sowohl für die Schiffahrt als auch beim Bergbau erfuhr [2], weit mehr als die elektrischen beachtet worden. So konnte die als Deklination bezeichnete Abweichung der Nadel aus der Nord-Südrichtung einem aufmerksamen Beobachter nicht wohl entgehen. Columbus hatte dann die Änderungen der Deklination auf seiner Reise nach Westen entdeckt und war sogar auf den Gedanken gekommen, diese Änderungen zur Bestimmung der geographischen Länge zu benutzen. Er bemerkte 200 Seemeilen westlich von Ferro eine westliche Deklination von 5°. Bei der weiteren Fahrt nach Westen vergrößerte sich diese Abweichung, während sie in Europa damals östlich war. Die Neigung der um eine horizontale Achse drehbaren Magnetnadel war gleichfalls bereits bekannt. Gilbert selbst teilt mit, daß ihre Größe im Jahre 1576 für London gleich 71° 50′ gefunden sei [3].

Gilberts wesentlichstes Verdienst bestand darin, daß er alle erdmagnetischen Erscheinungen unter einem Gesichtspunkt vereinigte, indem er die Erdkugel für einen einzigen großen Magneten erklärte. Zu dieser Auffassung gelangte er, als er das Verhalten der Nadel gegen einen kugelförmigen Ma-

---

[1]) Gilbert, De magnete, Buch II, Kapitel II.

[2]) Über die Verwendung der Magnetnadel bei der Anlage von Gruben berichtet Agricola (1490—1555) in seinem Werke De re metallica.

[3]) Gilbert, De magnete, I, 1. Diese Messung rührt von Robert Norman her. Die erste, jedoch mangelhafte Beobachtung der Inklination erfolgte im Jahre 1544 durch den Deutschen Georg Hartmann.

gneten eingehend untersuchte und es mit ihrem Verhalten der Magnetnadel gegen die Erde verglich. Daraus, daß die Nadel sich an den Polen eines kugelförmigen Magneten senkrecht zur Oberfläche einstellt (siehe Abb. 32), schloß Gilbert, daß die Inklination in den nördlichen Teilen der Erde größer sein müsse als in London, eine Vermutung, welche später durch Hudson während seiner Entdeckungsreisen in den polaren Gegenden Amerikas bestätigt wurde. Hudson fand nämlich im Jahre 1608 schon unter dem 75. Grad nördlicher Breite eine nahezu senkrechte Einstellung der Inklinationsnadel. Dies war der Annahme Gilberts nicht ganz entsprechend, da er meinte, der magnetische Nordpol müsse mit dem geographischen zusammenfallen, wie er ja auch die tägliche Drehung der Erde als eine Folge des Erdmagnetismus auffaßte. Galilei, der Gilbert schätzte und seine Ergebnisse im wesentlichen gelten ließ, wies jedoch die Ansicht, daß jede freischwebende, magnetische Kugel sich um ihre Achse drehen müsse, als irrtümlich zurück.

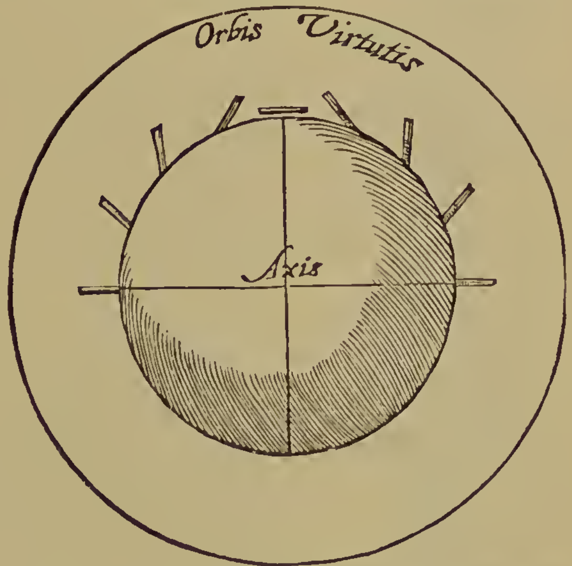


Abb. 32. Gilbert untersucht die Stellung eines kleineren Magneten zu seiner Terella. (Gilbert, De magnete, lib. II. cap. VI.)

Von dem Nachweis, daß die Erde ein kugelförmiger Magnet ist, war es nur ein Schritt zu dem Glauben, daß auch die übrigen Weltkörper, insbesondere der Mond und die Sonne, mit magnetischer Kraft begabt seien[1]). Gilbert zögerte nicht, diesen Schluß zu ziehen und als Anhänger des koppernikanischen Systems die Bewegung der Weltkörper, sowie die Erscheinung der Ebbe und Flut auf den Magnetismus zurückzuführen. Hierin folgte ihm auch Kepler, dessen Ansichten über die magnetische Kraft der Sonne wir später kennen lernen werden.

Da Gilbert die geographischen Pole mit den magnetischen zusammenfallen ließ, bedurfte die Erscheinung der Deklination

[1]) Gilbert, De magnete II, Kap. IV.

einer besonderen Erklärung. Gilbert, dem noch wenig Beobachtungsmaterial zur Verfügung stand, hielt die Verteilung von Wasser und Land für die Ursache jener Abweichung der Nadel. Seiner Meinung nach mußte im Innern größerer Kontinente, wo der Einfluß des Meeres aufhörte, auch die Deklination verschwinden. Die wenigen Beobachtungen, welche die Seefahrer damals gesammelt hatten, waren geeignet, diese irrige Ansicht zu unterstützen.

Zwar wußte Gilbert noch keine eigentliche Theorie der von ihm gefundenen Tatsachen zu geben, wenn er auch die elektrischen Erscheinungen in ähnlicher Weise, wie es schon das Altertum versucht hatte, auf Ausflüsse zurückführte. Wie man die Luft als einen Ausfluß der Erde betrachten müsse, so beruhe die Elektrisierbarkeit der Körper darauf, daß eine gewisse feinste Flüssigkeit, die erforderlich sei, um den Zusammenhang der Körper zu bewirken, infolge der Reibung aus ihnen hervorgetrieben werde. Dieses Fluidum sollte die elektrische Anziehung leichter Körper vermitteln, ebenso wie nach Gilberts Ansicht die Luft es ist, welche die ihrer Unterstützung beraubten Körper veranlaßt, sich dem Mittelpunkt der Erde zu nähern. Diese Vorstellung von einer oder mehreren Flüssigkeiten als Trägern der elektrischen Erscheinungen, die uns bei den Alten und bei Gilbert im Keime begegnet, wurde vom 18. Jahrhundert, das sich in hervorragendem Maße der Erforschung der Reibungselektrizität zuwandte, festgehalten und zu einer wissenschaftlichen Theorie entwickelt.

Hinsichtlich der magnetischen Erscheinungen verzichtet Gilbert auf eine physikalische Erklärung. Er hält diese Erscheinungen für die Folge einer Beseelung der Materie. Auch die Bewegung der Weltkörper führt er auf den Magnetismus zurück. Jenseits der Ausflüsse finde sich der leere Raum, das Vakuum, durch welches hindurch unmöglich eine materielle Einwirkung stattfinden könne. Daher nahm Gilbert — und auch hierin folgte dem Physiker der Astronom Kepler — in den Weltkörpern eine seelische Kraft an. Das große Rätsel von der Wirkung der Materie in die Ferne begegnet uns also schon hier an der Schwelle der neueren Naturwissenschaft.

Der Mangel an klaren theoretischen Vorstellungen beeinträchtigt indessen nicht den Wert experimentell gewonnener Ergebnisse. Und diese sind es, die wir Gilbert in reichem Maße verdanken. Hervorgehoben seien noch seine Versuche mit bewaffneten oder armierten Magneten. Letztere stellte er dadurch her, daß er die

Pole eines natürlichen Magneten mit Eisenkappen bedeckte (siehe Abb. 33). Es zeigte sich, daß die Tragkraft durch eine derartige Armierung bedeutend zunimmt. So trug ein Magnet vor der Armierung 2 und nach der Armierung 12 Unzen Eisen. Die Abbildung zeigt uns einen armierten Magneten, der zwei andere von gleicher Größe trägt.

Die erste, zwar noch sehr einfache Elektrisiermaschine rührt von Guericke her. Sie findet sich in seinem Werke „De vacuo spatio" abgebildet (siehe Abb. 34) und beschrieben. Zu ihrer Herstellung füllte Guericke eine Glaskugel mit geschmolzenem Schwefel. Nach dem Erkalten wurde das Glas zerschlagen und die so erhaltene Schwefelkugel auf eine Achse gesteckt, die auf zwei Stützen ruhte. Als Reibzeug diente die trockene Hand; ein Kondukteur fehlte noch. Immerhin war es die erste maschinelle Vorrichtung zum Erzeugen von Elektrizität. Die geriebene Kugel zog Papier, Federn und andere leichte Gegenstände an und führte sie mit sich herum. Wassertropfen, die man in ihre Nähe brachte, gerieten in eine wallende Bewegung. Auch wurde ein Leuchten und ein Geräusch wahrgenommen, wenn man der Schwefelkugel nach dem Reiben den Finger näherte. Vermittelst dieser Maschine entdeckte Guericke auch die von Gilbert noch übersehene Abstoßung gleichnamig elektrisierter Körper. Ferner bemerkte er, daß ein von der Kugel abgestoßener Körper wieder angezogen wird, nachdem er mit dem Finger oder mit dem Boden in Berührung gekommen ist. Brachte er z. B. eine Feder zwischen die elektrisierte Kugel und den Fußboden, so hüpfte diese Feder auf und nieder. Auch daß sich die Elektrizität der Kugel vermittelst eines leinenen Fadens fortleiten läßt, wurde von Guericke nachgewiesen.

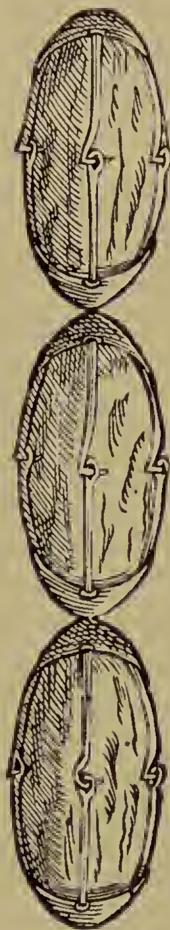


Abb. 33. Gilberts Versuche mit armierten Magneten. (Gilbert, De magnete cap. XX.)

Guericke boabachtete sogar schon, daß Körper elektrisch werden, wenn man sie der geriebenen Schwefelkugel nur nähert. Er war also ein Vorläufer von Äpinus, der als der eigentliche Erforscher der Influenzerscheinungen betrachtet werden muß. Leider fand Guericke auf diesem Gebiete nicht die Beachtung, die man seiner Luftpumpe und den Magdeburger Halb-

kugeln zollte. Die Laien vermochten ihm hier nicht zu folgen, und die Gelehrten ließen Guerickes Entdekungen der Vergessenheit anheimfallen[1]).

In ganz anderer Weise wie Galilei und Gilbert machte sich zur selben Zeit der Engländer Francis Bacon (1561—1626) um die Erneuerung der Naturwissenschaften verdient. Hatte Gilbert gleich Galilei aufbauend und durch die Tat geschaffen,



Abb. 34. Guerickes Elektrisiermaschine[2]).

so wirkte Bacon mehr zerstörend und durch das Wort. Er war es, der die damalige geistige Atmosphäre von jenen Trübungen reinigen half, die ihr aus der aristotelisch-scholastischen Periode noch anhafteten. Dabei unterstützte ihn eine klare und gefällige Ausdrucksweise. Mit beredten Worten kämpft er in seinem Hauptwerk, dem neuen Organon[3]), gegen alles, was die Menschheit von der Ausübung des induktiven Verfahrens bisher zurückgehalten hatte. Es sind das nach ihm vor allem die „Idole“ oder falschen Begriffe, die zum Teil in der Natur des Menschen begründet sind, teils aber aus dem Zusammenleben entspringen.

Nicht der menschliche Sinn ist bei Bacon das Maß der Dinge. Vielmehr geschehen alle Auffassungen der Sinne und des Verstandes nach der Natur des Menschen und nicht nach der Natur des Weltalls. Der menschliche Verstand gleicht „einem Spiegel mit unebener Fläche, der seine Natur mit den Strahlen

1) Hoppe, Geschichte der Elektrizität. Leipzig 1884, S. 5.

2) Otto von Guericke, De vacuo spatio. 1672. Tafel XVIII. Fig. V.

3) Bacon, Novum organon. 1610. Übersetzt und erläutert von J. H. v. Kirchmann, Berlin, 1870.

der Gegenstände vermengt". Aber auch die Eigenart der einzelnen Menschen bedingt wieder eine besondere Auffassung. Ferner beeinflußt die unzutreffende Benennung von Dingen und Vorgängen den Geist in merkwürdiger Weise, so daß „bloße Worte die Menschen zu zahllosen leeren Streitigkeiten und Erdichtungen verleiten". Der größte Anlaß zu Irrtümern rühre aber von den Täuschungen der Sinne her. Alles was die Sinne erschüttert, werde über das gestellt, bei dem dies nicht unmittelbar der Fall ist, wenn auch letzteres das Wichtigere sein sollte. Darauf sei es z. B. zurückzuführen, daß die Natur der gewöhnlichen Luft fast unbekannt sei. Die wahre Erklärung der Natur vollziehe sich durch passende Versuche, wobei die Sinne nur über den Versuch, der Versuch aber über die Natur das Urteil zu sprechen habe.

Das wahre Ziel der Wissenschaften besteht nach Bacon darin, das menschliche Leben mit neuen Erfindungen und Hilfsmitteln zu bereichern. Doch könne man auf einen weiteren Fortschritt nur hoffen, wenn die Naturwissenschaft vorzugsweise solche Versuche aufnehme, die zwar keinen unmittelbaren Nutzen gewährten, aber zur Entdeckung der Ursachen und der Gesetze dienten. Ferner sei nicht nur die Zahl der Versuche zu vermehren, sondern es müsse durch eine neue Methode eine bestimmte Regel eingeführt werden. Ein unbestimmtes, sich selbst überlassenes Experimentieren sei ein reines Umhertappen und verwirre nur die Menschen, anstatt sie zu belehren. Wenn aber die Naturforschung nach einer festen Regel in Ordnung und Zusammenhang vorschreite, so lasse sich Besseres für die Wissenschaft erhoffen.

Manche der bisherigen Erfindungen seien derart, daß niemand vorher eine Ahnung davon gehabt, sondern dergleichen als Unmöglichkeiten betrachtet haben würde. Bacon erinnert an die Erfindung der Feuerwaffen und des Kompasses. Man dürfe daher hoffen, daß die Natur in ihrem Busen noch vieles verborgen halte, was mit dem bisher Erfundenen keine Verwandtschaft und Ähnlichkeit habe, sondern weitab von den Wegen der Einbildungskraft liege. Unzweifelhaft werde es im Verlaufe der Jahrhunderte zum Vorschein kommen, ebenso wie es mit dem Früheren auch geschehen sei. Aber auf dem von ihm gezeigten Wege werde dies schneller und sicherer geschehen.

Trotz dieser unleugbar richtigen Grundsätze einer Philosophie der Erfahrung würde es verkehrt sein, Bacon für einen Natur-

forscher oder gar, wie es auch wohl geschehen ist, für den eigentlichen Begründer der neueren Naturwissenschaft zu halten. Das, was er forderte, war durch Galilei, Gilbert und andere längst Wirklichkeit geworden. In allen Ländern regte sich ein neuer, dem experimentellen Verfahren zugewandter Geist. Bacons Verdienst war es, daß er diesen in einer klaren, oft prophetischen Weise zum Ausdruck brachte. Wir dürfen ihn also nicht als den Erfinder, wohl aber als einen beredten Verkünder der induktiven Forschungsweise bezeichnen. Es sei daher noch einiges über die Eigenart und den Lebensgang dieses merkwürdigen Mannes mitgeteilt.

Francis Bacon wurde am 22. Januar 1561 in London geboren. Er bekundete frühzeitig eine hervorragende Begabung. Mit 13 Jahren bezog er die Universität, mit 16 veröffentlichte er seine erste Schrift, in welcher er bereits sein Lebenswerk, den Kampf gegen die scholastische Philosophie, aufnahm. Die Anregung dazu ist Bacon von verschiedenen Seiten gekommen. An vielen Orten waren während des 16. Jahrhunderts Männer aufgetreten, die sich dem Einfluß der aristotelischen Lehren zu entziehen und selbständig an das Studium der Natur zu gehen strebten. Unter ihnen ist vor allem der Italiener Telesio zu nennen, dessen Hauptwerk „De natura“ im Jahre 1588 erschienen war. Sowohl Bacon als auch Giordano Bruno zollten dem Telesio große Anerkennung.

Bei einem Aufenthalt in Frankreich hatte Bacon ferner in Palissy die Bekanntschaft eines Mannes gemacht, der ohne Kenntnis der griechischen und lateinischen Quellen sich der Erforschung der Natur widmete und durch seine Erfindungen und Entdeckungen die Aufmerksamkeit auch der gelehrten Kreise Frankreichs auf sich zog. Palissy machte wichtige Erfindungen auf dem Gebiete der Keramik und beschrieb ein von ihm angelegtes Mineralienkabinett. Er bekämpfte die Alchemie, erklärte die Versteinerungen für Überreste von Lebewesen und entwickelte in seiner Abhandlung über die Gewässer und die Quellen ein klares geologisches Verständnis. Dieser seltene Mann[1]) hielt in Paris Vorträge, denen auch Bacon beiwohnte.

---

1) Näheres über ihn und seine Beziehungen zu Bacon findet man in dem Buche von A. B. Hanschmann, Bernhard Palissy als Vater der induktiven Wissenschaftsmethode. Leipzig 1903.

Von Beruf war Bacon Jurist. Eine glänzende Beredsamkeit, vereinigt mit einem oft allzu geschmeidigen Wesen, unterstützte sein ehrgeiziges Streben. Sprach er, so hatte er seine Zuhörer so in der Gewalt, daß jeder fürchtete, er möchte schon am Ende angekommen sein. Staffel auf Staffel erklimmend, dabei wenig wählerisch in seinen Mitteln, gelangte Bacon schließlich zur höchsten Würde, indem ihn der König zum Großkanzler und zum Baron von Verulam erhob. Dies geschah zu einer Zeit, als sich in England die Anzeichen bevorstehender politischer Umwälzungen immer mehr geltend machten und der Widerstand des Parlaments gegen die Krone und deren Vertreter in stetem Wachsen begriffen war. Eins der ersten, indes nicht schuldlosen Opfer dieses Streites ist Bacon geworden.

Zu jener Zeit war die Unsitte, Beamten Geldgeschenke zu machen, in England sehr verbreitet. Auch Bacon nahm solche entgegen, um den Aufwand, den seine Stellung mit sich brachte, zu bestreiten. Bacon wurde nun der Bestechlichkeit bezichtigt, wenn er auch beteuerte, bei seiner amtlichen Tätigkeit auf die an ihn gelangten Geschenke niemals Rücksicht genommen zu haben. Er gab auch zu, daß eine Beseitigung des bestehenden Mißbrauches wünschenswert sei. Es sei nur sein Unglück, daß man mit der Reform bei ihm anfange. Trotzdem hielt das Parlament Bestechlichkeit in mehr als zwanzig Fällen für nachgewiesen, und das Haus der Lords verurteilte den Lordkanzler und obersten Richter in England zum Verlust seiner Ämter. Niemals dürfe Bacon wieder ein öffentliches Amt bekleiden, noch im Parlamente sitzen, auch solle er aus der Nähe des Hofes verbannt sein, so lautete das harte, wenn auch gerechte Urteil[1]). Die Verurteilung geschah im Jahre 1621. Den Rest seines Lebens verbrachte Bacon in der Zurückgezogenheit, mit der Abfassung philosophischer Werke beschäftigt.

Obgleich Bacon auf Experimente drang und lehrte, daß alle Philosophie von der Erfahrung ausgehen müsse, hat er kaum einen Versuch von Bedeutung angestellt. Sein mathematisches und physikalisches Wissen war selbst für seine Zeit gering. Er kannte die Werke Galileis und Gilberts, hatte jedoch zum eingehenden Studium offenbar keine Muße gefunden. Während Galilei mit dem Fernrohr den Himmel durchforschte, zweifelte Bacon, ob Instrumente

[1]) L. v. Ranke, Englische Geschichte. Bd. II. S. 135.

von Nutzen seien[1]). Auch blieb er Zeit seines Lebens ein Gegner der koppernikanischen Lehre. Ebensowenig fanden die Fortschritte in der Mechanik, die wir Galilei und seinen Schülern verdanken, die Beachtung Bacons. Auf diesem Gebiete beharrte er gänzlich in den Fesseln der Scholastik, die er im übrigen bekämpfte. Man höre nur seine Ausführungen über die Bewegung des Zitterns. „Sie ist“, heißt es[2]), „die einer ewigen Gefangenschaft, in welcher die Körper nicht ihrer Natur entsprechend gestellt sind, aber sich auch nicht ganz schlecht befinden. Sie bewegen sich deshalb hin und her, weil sie weder mit ihrem Stand zufrieden sind, noch es wagen, weiter vorzuschreiten.“ Als eine Bewegung solcher Art faßte er z. B. diejenige des Herzens auf. Ja, er kennt sogar eine „Bewegung aus Abscheu vor Bewegung“. Daß er an dem aristotelischen Gesetz der Leichtigkeit und Schwere festhält und z. B. zu untersuchen empfiehlt, ob die Luft ein absolut leichter oder ein schwerer Körper sei, darf uns daher nicht wunder nehmen.

Trotz seines Unvermögens, Eigenes in der von ihm gewollten Richtung zu vollbringen, ist Bacons Einfluß nicht zu unterschätzen. Seine Werke haben manche tüchtige Kraft ermuntert, sich in den Dienst der großen, von Bacon in den Vordergrund gerückten Aufgabe zu stellen, der Aufgabe nämlich, die wahre Herrschaft des Menschen dadurch zu begründen, daß letzterer sich zum Herrn der Naturkräfte mache. In der Philosophie ist Bacon der Urheber derjenigen Richtung, welche von der Erfahrung ausgeht und als Realismus bezeichnet wird. Auch auf die Pädagogik hat sich sein Einfluß erstreckt. Comenius, der Vater der neueren Pädagogik, wurde in erster Linie durch Bacon veranlaßt, das größte Gewicht auf die Anschauung zu legen. „Warum“, so sagt Comenius, „sollen wir nicht statt fremder Bücher das lebendige Buch der Natur aufschlagen? Fast niemand lehrt Physik durch Anschauung und Experiment. Alle unterrichten durch mündlichen Vortrag des aristotelischen Werkes oder eines anderen.“

Neben Italien und England war es vor allem Deutschland, das sich an der Neubegründung der Naturwissenschaften lebhaft beteiligte. Hier war das koppernikanische System entstanden; von hier aus hatte die Reformationsbewegung einen großen Teil der europäischen Menschheit ergriffen. Zwar drohte die befreiende

---

1) Siehe Draper, Geschichte der geistigen Entwicklung Europas. Leipzig 1841. Seite 527 u. f.

2) Novum organum scientiarum. Lugd. Bat. 1645. Kap. 48, Seite 366.

Kraft, welche dieser neuen Bewegung innewohnte, unter neuen starren Formen, sowie in endlosen Religionskämpfen zu ersticken. Die evangelische Hierarchie war nicht weniger darauf bedacht, die Lehrfreiheit in ängstlicher Weise zu beschränken, wie es in Italien durch den katholischen Klerus geschah. Ebensowenig wie in diesem Lande hätte es an deutschen Hochschulen ein Gelehrter wagen dürfen, sich zur koppernikanischen Weltanschauung zu bekennen. Dazu kam in protestantischen Ländern ein solch weitgehender Haß gegen den Katholizismus, daß selbst vernünftige Neuerungen, wenn sie von Rom ausgingen, zurückgewiesen wurden. So erging es z. B. der von Gregor XIII. im Jahre 1582 ins Leben gerufenen Reform des Kalenders. Bis dahin hatte die Christenheit mit dem julianischen Jahr von $365^1/_4$ Tagen gerechnet, obgleich schon Hipparch und Ptolemäos wußten, daß die Dauer des Jahres geringer ist. Alle Bemühungen, den stetig wachsenden Fehler des Kalenders zu beseitigen, an denen z. B. auch Koppernikus lebhaften Anteil genommen, waren vergeblich geblieben. Dieser Fehler belief sich zur Zeit Gregors schon auf 10 Tage. Er wurde dadurch ausgemerzt, daß man die Tage vom 5. bis zum 15. Oktober des Jahres 1582 ausfallen ließ und anordnete, daß in Zukunft die Säkularjahre, sofern sie nicht durch 400 teilbar sind, gewöhnliche Jahre bleiben sollten [1]).

Die allgemeine Annahme des gregorianischen Kalenders wurde besonders durch Kepler befürwortet, der 1613 als Begleiter des Kaisers auf dem Reichstage zu Regensburg erschien. Die protestantischen Stände betrachteten jedoch die Frage als eine Religionssache und lehnten jeden Vermittlungsvorschlag ab. Volle hundert Jahre dauerte es, bis der Verwirrung ein Ende bereitet wurde und dank den Bemühungen eines Leibniz die Kalenderreform in den protestantischen Gegenden Deutschlands Eingang fand.

Wie bezüglich des Kalenders und des koppernikanischen Systems, so übte damals in allen Dingen eine noch nicht hinlänglich geläuterte Religiosität einen überwiegenden Einfluß aus. Indem sie sich auch mit politischen Interessen verquickte und den Gegensatz des alten und des neuen Bekenntnisses in Kriegen und Verfolgungen zum Ausdruck brachte, wie sie die Menschheit blutiger und zerstörender kaum gesehen, verlieh dieser auf Irrwegen befindliche Religionseifer dem 17. Jahrhundert sein eigentümliches Ge-

[1]) Der gregorianische Kalender schaltet somit in 400 Jahren 97 Tage ein; sein Fehler beträgt für diesen Zeitraum nur 0,122 Tage.

präge. Bevor jedoch in Deutschland der dreißigjährige und in England der Bürgerkrieg entfesselt wurden, Begebenheiten, die in der Entwicklung dieser Länder einen langen Stillstand herbeigeführt und viele Keime in ihrem Ansatz zerstört haben, hatte der wissenschaftliche Sinn dort schon in solchem Maße Wurzel geschlagen, daß er wohl gehemmt, nicht aber wieder vernichtet werden konnte. Während des 16. des 17. Jahrhunderts lief die geistige Entwicklung, zumal in Deutschland, darauf hinaus, die scholastisch-aristotelische Denkweise zurückzudrängen und zunächst das humanistisch-philologische, dann aber daneben auch das naturwissenschaftliche Element an deren Stelle zu setzen. Zwar blieb das Denken der großen Masse, dem Gesetz der Trägheit zufolge, das auch auf geistigem Gebiete seine Geltung hat, zunächst noch in den alten Banden befangen. Indes nahm während der Generationen, welche dem deutschen Religionskriege vorangingen, die Zahl der selbständig denkenden Männer stetig zu. Gleichzeitig erlebten Kunst, Gewerbefleiß und Handel einen bedeutenden Aufschwung und wirkten befruchtend auf viele Zweige der Wissenschaft.

Einen Beweis, welches Ansehen Aristoteles trotzdem noch immer genoß, bietet die Geschichte der Entdeckung der Sonnenflecken. Als nämlich im Jahre 1611 der Jesuit Scheiner sie fast gleichzeitig mit Fabricius und Galilei auffand, meinte sein geistlicher Vorgesetzter, es könne sich hier nur um Fehler der Gläser oder der Augen handeln, da er den Aristoteles zweimal durchgelesen und nichts von derartigen Dingen gefunden habe. Scheiner ließ sich jedoch durch dieses Urteil nicht beeinflussen. Er stellte etwa 2000 Beobachtungen[1]) über die Sonne zusammen und dehnte seine Forschungen mit Erfolg auf den Vorgang des Sehens und die Beschaffenheit des Auges aus. So bewies er die Ähnlichkeit des letzteren mit der Camera obscura durch folgenden Versuch: Er entfernte die Häute an der hinteren Wand eines Ochsenauges bis auf die Netzhaut und brachte eine Kerze in einiger Entfernung vor dem so präparierten Auge an. Das umgekehrte Bild der Kerzenflamme konnte dann auf der Netzhaut von einem hinter dem Auge befindlichen Standpunkt wahrgenommen werden[2]). Später (im Jahre 1625) stellte Scheiner den gleichen Versuch mit demselben Ergebnis am menschlichen Auge an.

1) Rosa ursina sive sol ex admirando facularum et macularum suarum phaenomeno varius. 1630.

2) Scheiner, Oculus, hoc est fundamentum opticum. 1619.

Scheiner ließ sich bei seiner Beschäftigung mit optischen Fragen von dem Gedanken leiten, daß das Auge ein nach den Prinzipien der Optik gebautes Organ und deshalb besonders geeignet sei, die Grundlehren der Optik zu entwickeln. So entstand das Werk, das die soeben erwähnten Beobachtungen enthält. Es führt den, jenen Gedanken Scheiners zum Ausdruck bringenden Titel „Oculus, hoc est fundamentum opticum“ und ist grundlegend für die physiologische Optik geworden.

Scheiner beginnt mit einer eingehenden anatomischen Beschreibung des Auges. Dann folgt eine Untersuchung des Brechungsvermögens der verschiedenen Medien, welche die Strahlen nach ihrem Eintritt in das Auge durchdringen müssen, um zu der Netzhaut zu gelangen. Letztere ist nach Scheiner und nach Kepler, entgegen früheren Meinungen, welche die Wahrnehmung des Bildes in den Glaskörper oder gar in die Linse verlegten, der eigentliche Sitz des Sehvermögens. Scheiner zeigte, daß das Brechungsvermögen der wässerigen Feuchtigkeit mit demjenigen des Wassers und dasjenige der Linse mit dem des Glases nahezu übereinstimmt, während das Brechungsvermögen des Glaskörpers zwischen dem der erstgenannten Medien liegt. Der Gang des Lichtstrahls wird dann von seinem Eintritt in das Auge, bis er die Netzhaut trifft, verfolgt. Die entsprechenden Kapitelüberschriften geben am besten einen Überblick über den Gang und die Ausführlichkeit der von Scheiner unternommenen Untersuchung. Sie lauten: Brechung des Lichtstrahls beim Übergang aus der Luft in die Hornhaut, Brechung beim Übergang aus der Hornhaut in die wässerige Feuchtigkeit, Vergleich der das Auge zusammensetzenden Medien hinsichtlich ihrer Dichte, Brechung beim Übergang aus der wässerigen Feuchtigkeit in die Kristalllinse, Brechung an der Grenze von Kristalllinse und Glaskörper und endlich Brechung an der Grenze von Glaskörper und Netzhaut[1]).

Scheiner gab ferner die erste zutreffende Antwort auf die Frage, wie es kommt, daß das Auge nahe und entfernte Gegenstände deutlich zu sehen vermag. Dieses als Akkommodationsfähigkeit bezeichnete Vermögen erklärte Scheiner daraus, daß die

[1]) Scheiner, Oculus, Liber II. Pars I. Cap. VI. Refractio radii visorii ex aëre in tunicam Corneam. VII. Refractio e Cornea in humorem Aqueum. Cap. VIII. Densitas humorum oculi comparata. Cap. IX. Refractio radii ex Aqueo humore in Crystallinum. Cap. X. Refractio crystallino humore in Vitreum. Cap. XI. Refractio e Vitreo humore in tunicam Retinam.

Gestalt der Linse sich ändert, indem die Linse sich für nahe Gegenstände stärker wölbt, für entferntere dagegen sich abflacht.

Von den zahlreichen Versuchen, welche Scheiner über das Sehen anstellte, sei noch folgender hervorgehoben. In ein Papierblatt werden mit der Nadel mehrere kleine Öffnungen gestochen, die sich so nahe beieinander befinden müssen, daß die entstehende Figur die Pupille an Größe nicht übertrifft. Bringt man das Blatt dann nahe an das Auge und hält einen Gegenstand, etwa eine Nadelspitze, dahinter, so sieht man ihn so oft, als das Papier Öffnungen besitzt. Die Erscheinung erklärt sich daraus, daß sich die von der Nadelspitze ausgehenden Strahlen vor oder hinter der Netzhaut kreuzen.

---

5. Die Astronomie im Zeitalter Tychos und Keplers.

Koppernikus hatte das heliozentrische Weltsystem begründet. Durch deutsche Geistesarbeit sollte es auch seinen weiteren Ausbau erfahren und auf den Boden unzweifelhafter Gewißheit erhoben werden. Zu dieser Tat war Johannes Kepler berufen, der bedeutendste Astronom, den Deutschland im 17. Jahrhundert hervorgebracht hat. Nicht nur die Forschungen Keplers sondern auch sein Lebensgang verdienen eingehender gewürdigt zu werden.

Johannes Kepler wurde am 27. Dezember 1571 in dem württembergischen Städtchen Weil geboren. Schon im frühesten Lebensalter begann für ihn eine Kette von Widerwärtigkeiten, die sich durch sein ganzes Leben hindurch fortsetzen sollten. Es ist ein eigenartiges Stück Kulturgeschichte, das uns dieser Lebensgang darbietet. Keplers schwächlicher Körper wurde wiederholt von Krankheiten heimgesucht. Im Elternhause herrschte ehelicher Zwist. Der Vater nahm Kriegsdienste. Nach seiner Rückkehr verlor er durch Übernahme einer Bürgschaft seine geringe Habe. Später zog er von neuem hinaus. Er fiel im Kampfe gegen die Türken. Nach einer freudlosen Jugend wurde Kepler, da er seines schwächlichen Körpers wegen für einen praktischen Beruf untauglich war, in eine Klosterschule und darauf in das theologische Stift zu Tübingen geschickt.

„Was auf dem Gebiete der Geometrie und der Astronomie vorkam", schrieb Kepler später[1], „begriff ich ohne Schwierigkeit. Ich wurde auf Kosten des Herzogs von Württemberg unterhalten. Meine Fortschritte in der Gelehrsamkeit bewies mein Mysterium cosmographicum". Es ist dies Keplers im Jahre 1596 erschienenes astronomisches Erstlingswerk, das uns nach Inhalt und Bedeutung noch beschäftigen wird.

---

[1] Kästner, Geschichte der Mathematik. IV. S. 247.

Die Anregung zu mathematischen und astronomischen Studien empfing Kepler durch den in Tübingen lehrenden Mästlin. Mästlin (1550—1631) bekleidete dort die Professur für Mathematik und Astronomie. Er war ein Anhänger der koppernikanischen Lehre und soll auch Galilei für diese gewonnen haben. Mästlin hat das „aschfarbene" Licht des Mondes daraus erklärt, daß das Sonnenlicht von der Erde auf den Mond zurückgeworfen werde.

Zwischen Mästlin und Kepler entwickelte sich ein freundschaftliches Verhältnis. In dem Maße, wie Keplers Interesse für die Astronomie zunahm, wurde er der damals herrschenden Theologie entfremdet. Letztere war nämlich im evangelischen Württemberg zu einer Orthodoxie erstarrt, die jede freie Regung hemmte und in Dogmen zum Ausdruck kam, die in das wahrhaft religiöse Gemüt Keplers keinen Eingang fanden. Als Kepler sich dazu noch als ein Anhänger der koppernikanischen Lehre bekannte, war es um seine theologische Laufbahn geschehen. Er wurde als ungeeignet für den Kirchendienst bezeichnet und konnte von Glück sagen, daß er durch Mästlin eine Lehrstelle in Graz erhielt. Hier mußte er Mathematik und Rhetorik vortragen, sowie den Kalender schreiben, wobei die Voraussage des Wetters und der politischen Ereignisse von besonderer Wichtigkeit war. Mit welch schwerem Herzen mag der so aufrichtige Mann oft dies Geschäft erledigt haben, das er selbst als die „eitelste aber notwendige Amtsarbeit" bezeichnete! „Mutter Astronomie müßte gewißlich Hunger leiden", sagte er ein anderes Mal, „wenn die Tochter Astrologie nicht das Brot erwürbe". Daß Kepler übrigens in gewissem Sinne eine Einwirkung kosmischer Vorgänge auf irdische Begebenheiten für möglich hielt, ersieht man aus dem Schlußabschnitt seines „ausführlichen Berichtes über den im Jahre 1607 erschienenen Kometen und dessen Bedeutung" [1]). Kepler führt darin aus, er wolle nicht unbedingt in Abrede stellen, daß durch Kometen Seuchen hervorgerufen werden könnten. Wenn nämlich der Schwanz die Erde berühre, so könne es geschehen, daß die Luft verunreinigt werde. Da dies aber selten vorkomme, so müsse man nach einem anderen Grund suchen, um eine etwaige natürliche Wirkung der Kometen zu erklären. „Ist etwas daran", so fährt er fort, „daß nach der Ordnung der Natur Überschwemmung, Trockenheit oder Pestilenz durch einen Kometen verursacht und also vorbedeutet werden, so

1) Siehe Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher, 1908. S. 47. Es handelt sich um den Halleyschen Kometen.

muß dies folgendermaßen zugehen: Wenn im Himmel etwas Seltsames entsteht, so empfinden dies alle Kräfte der natürlichen Dinge. Diese Sympathie mit dem Himmel erstreckt sich besonders auf die Kraft, die in der Erde steckt und ihre inneren Zustände beherrscht. Die Folge ist, daß diese Kraft feuchte Dämpfe emportreibt, wodurch Regen und Überschwemmung und schließlich allgemeine Seuchen entstehen."

Auch der Mensch, wenn er selbst blind wäre, besitze doch dergleichen empfindliche und auf den Himmel aufmerkende Kräfte, welche durch einen im Himmel auftauchenden Kometen ebenfalls beunruhigt würden und nicht allein zu unnatürlichen Bewegungen des Geblütes und infolgedessen zu Krankheiten, sondern auch zu starken Gemütserregungen Veranlassung geben könnten. Diese Auffassung Keplers ist weit verschieden von dem abergläubischen Hang zur Sterndeuterei, der seine Zeit beherrschte. Sind es doch gerade Keplers Forschungen gewesen, welche der Astrologie den Boden entzogen haben. „Die sogenannten Irrsterne", sagt einer seiner Biographen[1]), „welche durch ihre Bewegungen die Schicksale bestimmen sollten, irrten nun nicht mehr, und die mystische Deutung, welche die Astrologie diesem Umherschweifen gab, verlor jeden Anhalt".

Trotzdem war Kepler, wenn er als Astronom sein Geld verdienen wollte, zum astrologischen Frondienst gezwungen. Dieser Umstand brachte ihn auch in Berührung mit zwei geschichtlichen Persönlichkeiten, mit Kaiser Rudolf II. und Wallenstein, deren Hang zur Astrologie bekannt genug geworden ist. Ein glücklicher Zufall fügte es, daß die von Kepler seinem ersten Kalender einverleibten Prophezeiungen, ein strenger Winter nämlich und der Ausbruch von Unruhen, wirklich eintrafen. Ein Erfolg dieser Art wurde damals von der urteilslosen Menge höher eingeschätzt als die Abfassung eines gelehrten Buches.

Die freie Entfaltung der Wissenschaft wurde zu Keplers Zeit auch durch das Fehlen desjenigen ethischen Momentes, das wir als akademische Lehrfreiheit bezeichnen und auch heute noch immer gegen rückwärts gerichtete Bestrebungen verteidigen müssen, in hohem Grade gehemmt. Eine Lehrfreiheit konnte sich nur in solchem Maße entwickeln, wie der Streit mit Worten und das gegenseitige Ausspielen von Autoritäten durch die greifbaren und logisch verknüpften Ergebnisse der exakten Forschung zurück-

[1]) Breitschwerdt, J. Keplers Leben und Wirken. 1831. S. 71.

gedrängt wurden. Der letzteren ist es zu danken, daß das *αὐτὸς ἔφα* allmählich verstummte und eine neue, die Wahrheit kündende Sprache, die Sprache nämlich, in welcher die Natur auf die an sie gestellten Fragen Antwort gibt, an dessen Stelle trat.

Zu der Zeit, die wir kennzeichnen, konnte ein Mästlin von dem Senat der evangelischen Universität Tübingen gezwungen werden, entgegen seiner Überzeugung die Astronomie nach dem System des Ptolemäos zu lehren und gegen den gregorianischen Kalender zu schreiben. Als er zauderte, erteilte man ihm einen Verweis. Mästlin mußte sich fügen, wenn er nicht seine Stelle verlieren wollte. Er entledigte sich der aufgezwungenen Arbeit, indem er einige unbedeutende Mängel des Kalenders rügte. In eine neue Verlegenheit geriet Mästlin, als Kepler ihm von Graz seine erste astronomische Arbeit, das Mysterium cosmographicum [1]), zusandte, damit sie in Tübingen im Druck erschiene. Der Senat erhob Einwendungen, weil die dem Werke zugrunde liegende Lehre von der Bewegung der Erde das Ansehen der heiligen Schrift schädigen könne. „Was ist zu tun?" schrieb Kepler darauf an Mästlin. „Ich denke, wir ahmen den Pythagoreern nach und teilen uns allein gegenseitig mit, was wir entdecken. Ich möchte dir um meinetwillen keine Feinde machen". Die Schwierigkeiten wurden aber schließlich überwunden. Das Werk erschien und der jugendliche Verfasser sandte es an Tycho und an Galilei, die bedeutendsten zeitgenössischen Astronomen, mit denen er auch später in Verbindung blieb.

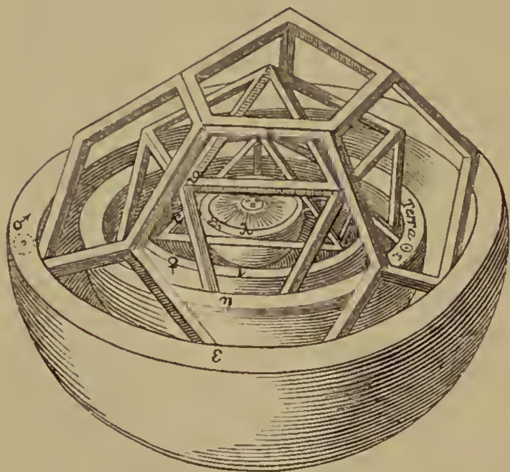


Abb. 35. Keplers Konstruktion der Planetensphären.

Der Gedanke, welcher Kepler nicht nur bei der Abfassung seiner ersten Schrift, sondern auch bei allen übrigen Arbeiten beherrschte, gipfelt darin, einfache arimethische oder geometrische Beziehungen zwischen den Entfernungen und

1) Prodomus dissertationum cosmographicarum continens Mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium coelestium a Joanne Keplero. Tübingen. 1596.

den Geschwindigkeiten der Planeten nachzuweisen. Die Lösung des ersten Teiles dieser Aufgabe hat er in seinem „Mysterium“ vergeblich angestrebt, während ihm die Bewältigung des zweiten Problems nach großen Mühen gelungen ist.

Als Kepler seine wissenschaftliche Tätigkeit begann, war die Naturwissenschaft von pythagoreischen und platonischen, auf Zahl und Maß sich gründenden Spekulationen überwuchert. Dieser Geist war es, der auch in Keplers Erstlingswerk zum Ausdruck kam.

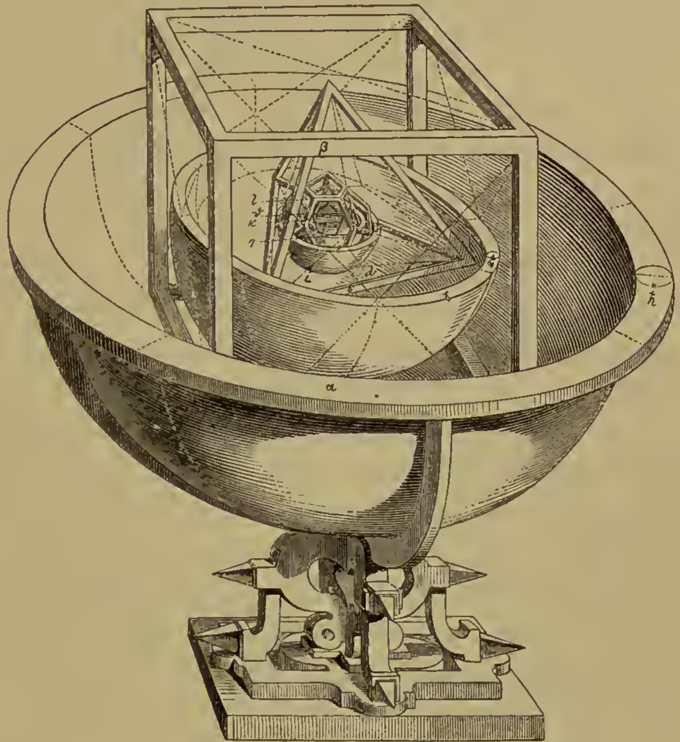


Abb. 36. Keplers Konstruktion der Planetensphären. Orbium planetarum dimensiones et distantias per quinque regularia corpora geometrica exhibens. α = Sphaera Saturni. β = Cubus. γ = Sphaera Jovis. δ = Tetraëder. ε = Sphaera Martis. ζ = Dodekaeder. η = Orbis Terrae. ϑ = Ikosaeder. ι = Sphaera Veneris. $\varkappa$ = Oktaeder. λ = Sphaera Mercurii. μ = Sol.
(Abb. 35 u. 36 sind Keplers Mysterium cosmographicum entnommen; siehe Opera omnia, Band I.)

Die Zahl der damals bekannten Planeten betrug sechs: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn. Den Grund für diese Zahl glaubte Kepler in der Existenz der fünf regelmäßigen Körper zu finden, die er zwischen die für kugelförmig gehaltenen Planetensphären einschaltete. Wir wollen ihn dieses Mysterium, auf welches er so stolz war, daß er einmal äußerte, er würde die Ehre dieser Entdeckung nicht um den Besitz des Kurfürstentums Sachsen preisgeben, mit seinen eigenen Worten verkünden lassen: „Die Erdbahn liefert die Sphäre, welche das Maß aller übrigen bildet. Um diese Sphäre (η in Abb. 35) beschreibe ein Dodekaëder. In der Sphäre, welche dieses umschließt, liegt die Bahn des Mars

(♂ in Abb. 35). Um die Marssphäre beschreibe man ein Tetraeder. Eine diesem Körper umschriebene Kugelfläche würde die Bahn des Jupiter enthalten (siehe Abb. 36, γ). Letztere umschließe mit einem Würfel; die umschriebene Sphäre (α) enthält die Bahn des Saturn (♄). Ferner errichte innerhalb der irdischen Sphäre ein Ikosaeder; die demselben eingeschriebene Kugelfläche enthält die Bahn der Venus (siehe Abb. 35, ♀). Beschreibt man innerhalb ihrer Sphäre ein Oktaeder, so umschließt das letztere die Sphäre des Merkur."

Kepler legt also eine Folge von sechs Kugelflächen zugrunde, denen die fünf regulären Körper ein- beziehungsweise umgeschrieben sind. Es zeigte sich, daß die Radien jener sechs Sphären ungefähr den von Koppernikus ermittelten verhältnismäßigen Entfernungen der Planeten entsprachen. Die von Koppernikus berechneten Werte weichen indes von den heute gültigen mehr oder weniger ab. Auch wurde die Annahme, daß die Planeten sich in Kreisen bewegen, von Kepler selbst durch die mühevolle Arbeit der nachfolgenden Jahre widerlegt. Das „Mysterium" war daher nur ein Versuch, dem man indessen seine Berechtigung nicht absprechen darf. Besteht doch die Tätigkeit des Forschers, wenn es sich um einen Fortschritt von grundlegender Bedeutung handelt, meist in der Aufstellung einer neuen Idee und der sich daran anschließenden Prüfung, ob das gesamte Tatsachenmaterial sich in den Rahmen dieser Idee einfügen läßt. Ähnlich verfuhr auch Galilei. Zunächst entwickelt er aus dem Begriff der gleichförmig beschleunigten Bewegung alle Umstände derselben. Dann zeigt er durch den Versuch, daß die Körper beim Fall über die schiefe Ebene ein Verhalten zeigen, welches dem Begriff der gleichförmig beschleunigten Bewegung entspricht. Auch unsere heutige Naturwissenschaft besteht in der Vereinigung von Gedankenerzeugnissen, die sich als Systeme, Hypothesen und Theorien darstellen, mit der Summe des zurzeit bekannten Tatsachenmaterials. Weder die Gebilde einer nicht genügend gestützten Spekulation, noch die Erfahrungstatsachen allein sind Wissenschaft. Kepler selbst gesteht einmal, er habe 19 Hypothesen ersonnen und wieder verworfen, ehe er zu der wahren, den Tatsachen entsprechenden Vorstellung gelangt sei.

Keplers Aufenthalt in Steiermark dauerte nicht lange. Der von Jesuiten erzogene Erzherzog Ferdinand, der spätere Kaiser Ferdinand der Zweite, wurde einige Jahre nach der Veröffentlichung des „Mysteriums" Keplers Landesherr. Als solcher begann er den Protestantismus mit der Wurzel auszurotten.

Wie ein Verbrecher wurde Kepler, der sich in Graz eine glückliche Häuslichkeit gegründet hatte, des Landes verwiesen. Dieses Ereignis, so traurig es für den Betroffenen war, hatte das Gute im Gefolge, daß es Kepler in persönliche Berührung mit Tycho, dem Meister der astronomischen Beobachtungskunst, brachte. Erst dadurch, daß Kepler Tychos Beobachtungen verwerten konnte, war es ihm möglich, seine Lebensaufgabe, die in der Erforschung der wahren Bewegung der Planeten bestand, zu erfüllen.

Tycho Brahe[1]) stammte aus Schweden. Er wurde im Jahre 1546 geboren und zeigte schon als Jüngling, angeregt durch die Beobachtung einer Sonnenfinsternis und das Studium des Almagest, ein großes Interesse für die Himmelskunde. Auch der Alchemie war er zugetan. Ja, er hoffte, durch sie die zur Errichtung einer Sternwarte erforderlichen Geldmittel zu bekommen.

Als Tycho eines Abends im November des Jahres 1572 sein alchemistisches Laboratorium verließ und den Blick auf den ihm wohlbekannten Sternenhimmel lenkte, nahm er einen neuen, vorher nicht gesehenen Stern in der Cassiopeia wahr. Andere hatten diesen Stern schon einige Tage vor Tycho gesehen. Einen Monat später hatte das neue Gestirn an Glanz den Jupiter fast erreicht. Im Frühling des Jahres 1572 erschien es als Stern erster Größe; darauf nahm es stetig ab. Im Beginn des folgenden Jahres besaß es kaum mehr als 5. Größe, um im Jahre 1574 ganz zu verschwinden.

Die Astronomen gerieten über dieses Vorkommnis in eine leicht begreifliche Erregung. Da man mit Aristoteles den Fixsternen ein wandelloses Sein zuschrieb, glaubten die meisten, die Erscheinung habe innerhalb der planetaren Region stattgefunnden. Daran knüpften sich die unsinnigsten Vermutungen. Nach einigen war das in Frage kommende Gestirn sogar vom Jupiter in Brand gesteckt worden. Demgegenüber wies Tycho nach, daß der neue Stern sich jenseits der äußersten Planetensphäre befunden haben müsse, da er seine Stellung zu den Fixsternen nicht verändert habe. Der Zufall fügte es, daß das plötzliche Aufleuchten eines Sternes innerhalb des kurzen Zeitraums von 1572—1604 wiederholt vorkam, wodurch den Astronomen die

[1]) Ein Bild des Lebens und Schaffens Tychos hat J. E. L. Dreyer geliefert: Tycho Brahe, ein Bild wissenschaftlichen Lebens und Arbeitens im 16. Jahrhundert. Autorisierte deutsche Übersetzung von M. Bruns. XII, 434 S. Karlsruhe, 1894.

Wichtigkeit genauer Fixsternverzeichnisse von neuem nahegelegt wurde.

Über den Stern vom Jahre 1604 hat Kepler ausführlich berichtet. Er zeigte, daß auch dieser neue, im Sternbilde der Schlange entstandene Stern seine Stellung zu den Fixsternen nicht veränderte.

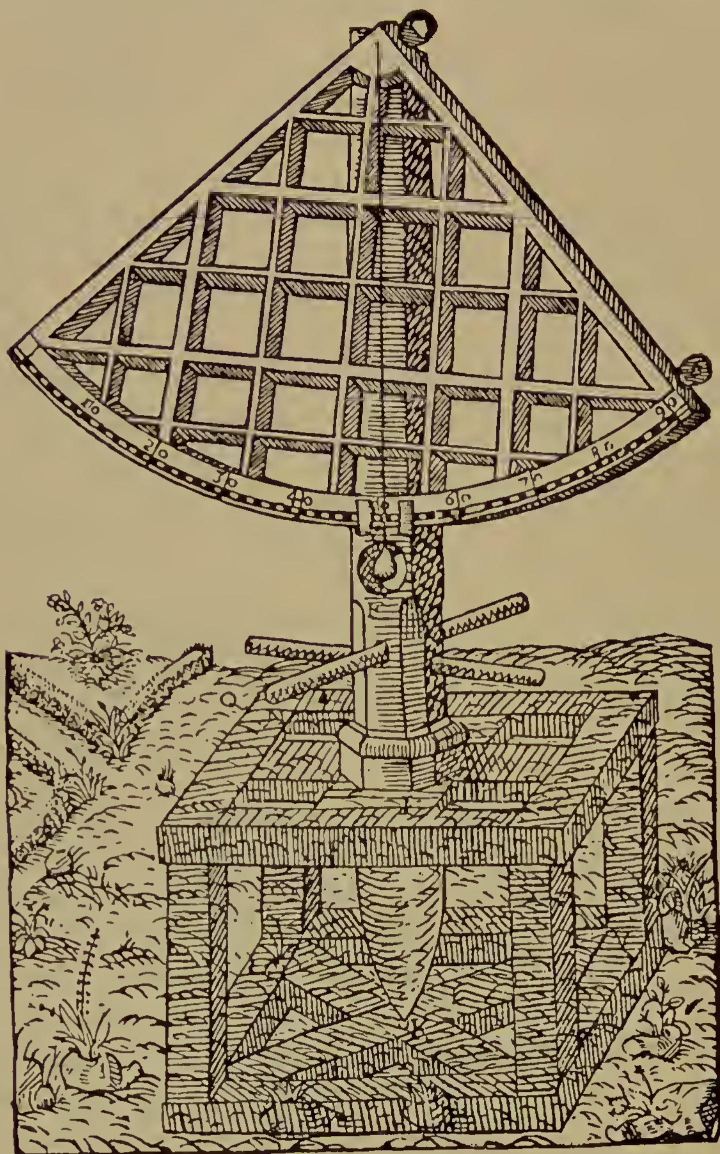


Abb. 37. Tychos Riesenquadrant [1]).

Daraus schloß er, daß es sich nicht etwa um einen Planeten oder einen Kometen handele. „Wollte Gott", fügte Kepler hinzu, „daß diejenigen, die ein langes Gewäsch vom Ursprung dieses Sternes

1) Nach Tychos Mechanica. 1602.

machen, zuvor Tychos Ausführungen über den Stern vom Jahre 1572 lesen möchten, damit sie mit so kindischen Gedanken, als sollte dieser Stern vom Jupiter oder Mars angezündet worden sein, daheim blieben.“ [1])

Keine Wissenschaft ist so sehr durch fürstliche Gunst gefördert worden wie die Astronomie. Allerdings hat dabei oft weniger das Interesse für den Gegenstand als der Glaube, daß in den Sternen das Schicksal geschrieben sei, den Ausschlag gegeben. Dies erfuhr auch Tycho. Durch die Freigebigkeit des dänischen Königs [2]) wurde er in den Stand gesetzt, auf einem zwischen Schonen und Seeland gelegenen Inselchen [3]) eine Sternwarte zu errichten, wie sie die Welt in gleicher Großartigkeit noch nicht gesehen. Diese Warte erhielt den Namen Uranienborg. Sie blieb 20 Jahre die Arbeitsstätte Tychos, dem sich hervorragende Mitarbeiter zugesellten. Tychos größtes Verdienst bestand darin, daß er den astronomischen Messungen einen bis dahin nicht erreichten Grad von Genauigkeit verlieh und auf diese Weise den Grund für jeden weiteren astronomischen Fortschritt legte. Um die Rektaszension eines Sternes zu finden, hatte man bisher am Tage den Abstand des Mondes von der Sonne bestimmt und in der darauffolgenden Nacht die Stellung des Mondes mit derjenigen der Sterne ver-

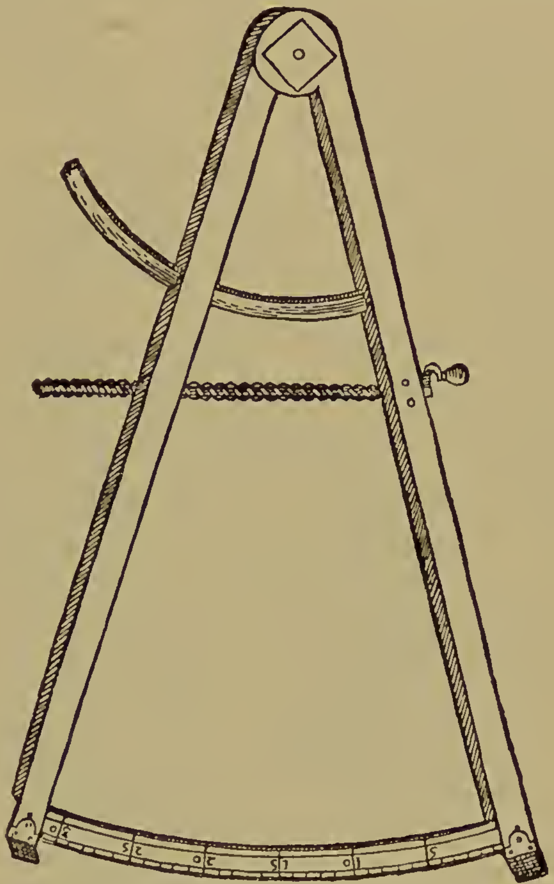


Abb. 38. Tychos Distanzenmesser.

[1]) Bericht über einen ungewöhnlichen neuen Stern, welcher im Oktober 1604 erschienen, gestellt durch Johann Kepler.

[2]) Friedrich II.

[3]) Namens Hven.

glichen. Eine weit größere Sicherheit wurde dadurch erreicht, daß Tycho die Venus, die mitunter am Tage sichtbar ist, zu diesem Zwecke anstatt des seine Stellung rasch ändernden Mondes verwertete. Der Unterschied der Rektaszensionen zweier Sterne ergibt sich aus der Zeit, die zwischen ihren Kulminationen verfließt. Ein hierauf sich gründendes Verfahren zur Ortsbestimmung der Gestirne setzt aber die Benutzung genau gehender Uhren voraus. Tychos Augenmerk war daher schon auf eine möglichst scharfe Bestimmung des Zeitablaufs gerichtet. Da er jedoch auf Sanduhren und auf Räderuhren ohne Pendelvorrichtung angewiesen war, ließ sich diese Aufgabe nur unvollkommen lösen.

Besonders übertraf Tycho seine Vorgänger in der Genauigkeit des Winkelmessens. Zuerst benutzte er einen Kreuzstab. Später (1569) ließ er einen riesigen Quadranten aus Holz verfertigen, den uns Abb. 37 zeigt. Die Teilung befand sich auf einem Messingreif, dessen Halbmesser sich auf 6 m belief. Die Ablesung erfolgte mittelst eines an einem Metallfaden herabhängenden Lotes. Die Beobachtungen erfolgten durch die beiden Lochvisiere. Infolge der gewaltigen Dimensionen des an einem vertikalen drehbaren Eichenpflock befestigten Quadranten war die Genauigkeit der Messung eine beträchtliche. Die Bestimmungen waren bis auf Bruchteile einer Minute abzulesen.

Tychos Riesenquadrant war unter freiem Himmel aufgestellt und daher nicht lange brauchbar. Einen handlichen, kleineren, von Tycho konstruierten Apparat, dessen Einrichtung und Gebrauch ohne weiteres verständlich ist, zeigt Abb. 38. Die Schenkel dieses Apparates besaßen eine Länge von 1,6 Metern.

Das Urbild des heutigen Theodoliten endlich war Tychos Azimutalquadrant, dessen Einrichtung Abb. 39 erläutert. Der Apparat bestand aus Messing und war, trotzdem er weit geringere Dimensionen aufwies, als sie der Riesenquadrant besaß, doch von solcher Genauigkeit, daß sich die Winkel bis auf die Minute daran ablesen ließen.

Tycho ließ eine Himmelskugel aus Kupfer anfertigen, die etwa 1000 Sterne in der nach seinen Messungen berichtigten Stellung zeigte. Die Kreise dieser Kugel waren gleichfalls in Minuten geteilt. Dementsprechend erforderte ihre Herstellung auch die Summe von 5000 Talern.

Zur Annahme des koppernikanischen Systems konnte Tycho sich nicht verstehen, da ihm wie keinem anderen die Schwierigkeiten bekannt waren, welche diesem System noch entgegenstanden.

Eine Bewegung, die im Laufe eines halben Jahres den Ort der Erde um das Doppelte ihres Abstandes von der Sonne verändere, müsse, so schloß Tycho mit Recht, auch eine Änderung in der gegenseitigen Stellung der Fixsterne bewirken. „Eine jährliche

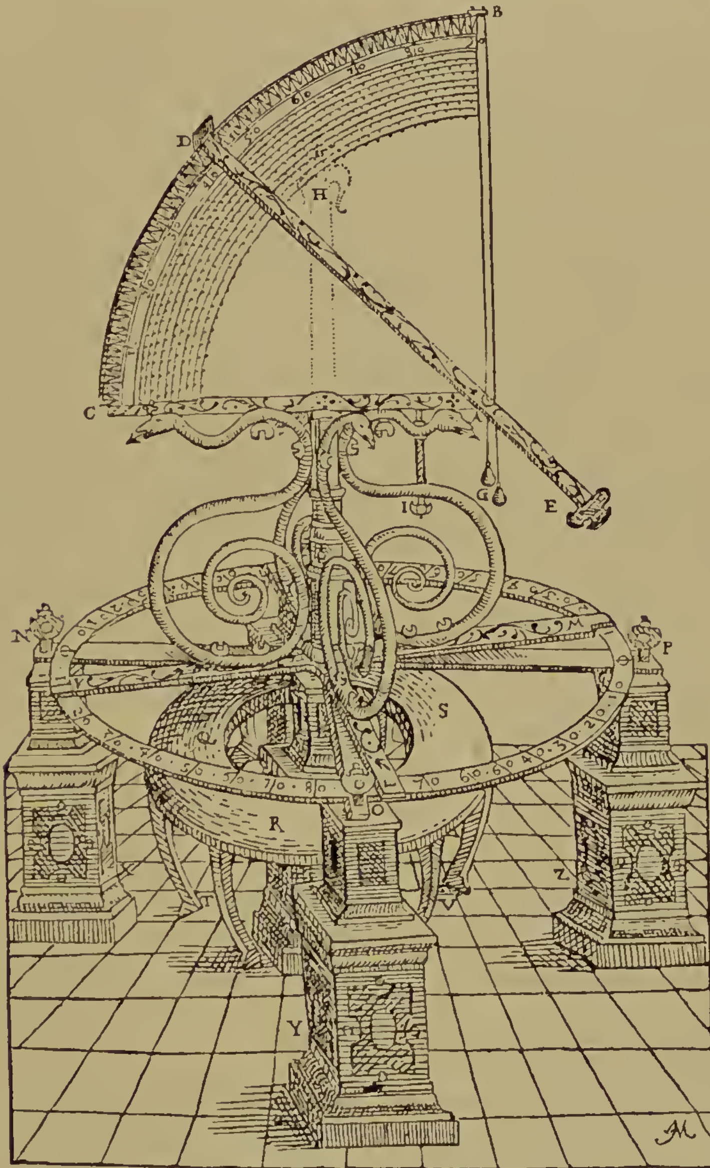


Abb. 39. Tychos Azimutalquadrant, aus dem der heutige Theodolit hervorgegangen ist[1].)
Das aus Messing hergestellte Instrument diente zur Bestimmung des Azimuts und der Höhe. Der Azimutalkreis NP ruhte auf vier Säulen. Der Höhenquadrant besaß fast zwei Ellen Radius und war mit Minuteneinteilung (B C) und Diopterlineal (D E) versehen.

[1]) Tychonis Brahe, de mundi aetherei recentioribus phaenominis. liber secundus. Prag 1603. Figur auf S. 463.

Bewegung[1]“, schreibt er, „würde die Fixsternsphäre[2]) in eine solche Ferne rücken, daß die von der Erde beschriebene Bahn im Vergleich zu jener Entfernung verschwindend klein sein müßte. Hältst Du es für möglich, daß der Raum zwischen der Sonne, dem angeblichen Zentrum der Welt, und dem Saturn noch nicht $^1/_{700}$ des Abstandes der Fixsternsphäre betrage? Zudem müßte dieser Raum sternenleer sein. Dies ist notwendig der Fall, wenn die jährliche Bahn der Erde, von den Fixsternen betrachtet, nur den Durchmesser einer Minute haben soll. Dann werden aber schon die Fixsterne dritter Größe, deren scheinbarer Durchmesser gleichfalls eine Minute beträgt, an Umfang gleich der Erdbahn sein müssen.“ Dieser Einwand Tychos wurde dadurch hinfällig, daß, wie man nach der Erfindung des Fernrohrs wahrnahm, die Fixsterne überhaupt keinen scheinbaren Durchmesser besitzen, sondern als bloße Lichtpunkte erscheinen, eine Tatsache, die wieder für die Behauptung der Koppernikaner sprach, daß sich die Fixsterne in ungeheurer Entfernung befänden. Der von Tycho geforderte Nachweis einer Parallaxe, deren Größe zugleich einen Schluß auf die Entfernung der Fixsterne gestattet hätte, sollte, wie wir später sehen werden, erst im 19. Jahrhundert dem Scharfsinn und der Beobachtungskunst eines Bessel gelingen[3]). Tychos Bemühungen, eine Parallaxe nachzuweisen, um dadurch die koppernikanische Lehre auf ihre Richtigkeit zu prüfen, blieben ohne Erfolg.

Außer den astronomischen Bedenken machte sich bei Tycho der koppernikanischen Lehre gegenüber auch ein für jene Zeit charakteristischer Mangel an richtigen mechanischen Begriffen geltend. So erhebt Tycho den landläufigen Einwand, daß ein fallender Körper, wenn die Erde sich bewege, unmöglich in lotrechter Richtung die Oberfläche treffen könne. Ferner meint er, die „träge, dicke“ Erde sei zu den Bewegungen, die Koppernikus ihr zuschreibe, viel zu ungeschickt.

Andererseits sah Tycho aber wohl ein, daß die Erscheinungen, welche die Planeten zeigen, sich besser mit der neuen Lehre als mit der geozentrischen Ansicht vereinigen ließen. Er stellte deshalb[4]) ein neues System auf, das zwischen dem geozentrischen und

1) Brief an Rothmann vom 24. 11. 1589. Tychonis Brahe, epistolarum astronomicarum libri. 1610.

2) Bei Annahme des Koppernikanischen Systems nämlich.

3) Siehe den 66. Abschnitt von Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher. Leipzig, W. Engelmann. 1908.

4) Im Jahre 1587.

dem heliozentrischen eine vermittelnde Stellung einnahm. Danach sollte sich die Sonne in einem exzentrischen Kreise um die Erde bewegen, die Planeten indes gleichzeitig die Sonne umkreisen. (S. Abb. 40).

Als Tycho auf der Höhe seines Ruhmes stand, ereilte ihn ein trauriges Geschick. Sein hoher Gönner starb[1]), und nun erhoben sich zahlreiche Feinde und Neider. Auf ihr Betreiben hin wurden Tycho die für die Uranienborg bestimmten Gelder entzogen mit



Abb. 40. Tychos System[2]).

der Begründung, seine Untersuchungen seien nicht nur nutzlos, sondern sogar „voll schädlicher Kuriosität". Dem großen Forscher, den Bessel später einen König unter den Astronomen nannte,

[1]) 1588.

[2]) Guericke de vacuo spatio. lib. I. Iconismus III.

wurde von der Regierung bedeutet, er möge sich mit dergleichen Arbeiten nicht mehr befassen[1]). Damit war das Schicksal der Uranienborg besiegelt. Die Verblendung, welche der aufstrebenden Naturwissenschaft so manchen Schaden zugefügt, hatte wieder einen ihrer unrühmlichen, zum Glück aber auch erfolglosen Siege errungen. Tycho, der schließlich sogar tätlichen Angriffen ausgesetzt war, rettete von seinen Instrumenten und Aufzeichnungen das Wertvollste und kehrte seinem Vaterlande den Rücken. Wiederum war es fürstliche Gunst, die ihm und seiner Wissenschaft eine neue Stätte bereitete. Auf Veranlassung Kaiser Rudolfs des Zweiten siedelte Tycho nach Prag über. Dort wurde er zum kaiserlichen Astronomen ernannt.

Von Prag aus erfolgte im Jahre 1599 Tychos Ruf an Kepler, dessen Schicksale wir bis zu dem Zeitpunkte verfolgt haben, in welchem die Unduldsamkeit der Kirche den in gesicherten Verhältnissen lebenden Mann in eine hilflose Lage versetzt hatte. Kepler wurde Tychos Hilfsrechner und erhielt die Erlaubnis, das umfangreiche Beobachtungsmaterial Tychos nach eigenem Ermessen zu verwerten.

„Ich halte es", schrieb Kepler später[2]) „für eine Fügung der Vorsehung, daß bei meiner Ankunft gerade der Mars untersucht wurde. Durch die Bewegungen dieses Gestirns müssen wir zu den Geheimnissen der Astronomie gelangen oder darin beständig unwissend bleiben". Der Mars machte nämlich von jeher unter den Planeten die größten Schwierigkeiten, was sich daraus erklärt, daß seine Bahn am meisten von dem Kreise abweicht. Andererseits bietet dieser Himmelskörper den Vorteil, daß man seinen Umlauf in wenigen Jahren beobachten kann, während die übrigen äußeren Planeten eine weit längere Beobachtungszeit erfordern.

Tychos Marsbeobachtungen erstreckten sich über einen Zeitraum von 16 Jahren. Sie verteilten sich ferner auf die ganze Bahn des Planeten und waren bis auf einige Minuten genau, besaßen also eine bisher unerreichte Genauigkeit[3]).

---

[1]) Laplace sagt in seiner Darstellung des Weltsystems (Ausgabe von Hauff), der Name aller derjenigen, welche ihre Gewalt mißbrauchten, um die Fortschritte der Vernunft aufzuhalten, müsse der Verwünschung aller Zeitalter preisgegeben werden. Als Tychos größten Widersacher nennt Laplace (Bd. II, S. 278) den dänischen Minister Walchendorp.

[2]) De motibus stellae Martis, Pars Secunda, Cap. 7.

[3]) Siehe Johannes Frischauf, Grundriß der theoretischen Astronomie und der Geschichte der Planetentheorien. Leipzig, W. Engelmann. 1903.

Daran, daß die Himmelskörper kreisförmige Bahnen beschreiben, hatte vor Kepler niemand gezweifelt. Kepler war der erste, welcher diesen, fast als Axiom betrachteten Grundsatz verließ. Zunächst untersuchte er, ob sich bessere Resultate unter der Annahme ergeben würden, daß die Bahn des Planeten die Form eines Ovals besäße. Endlich, als sich eine genügende Übereinstimmung zwischen Berechnung und Beachtung auch dadurch noch nicht erreichen ließ, kam er auf den Gedanken, anstatt des Ovals die Ellipse zugrunde zu legen. Und siehe da, während nach den von Koppernikus entworfenen Tafeln der beobachtete Ort des Mars im Jahre 1608 um nahezu 5 Grad von dem berechneten abwich, zeigte Kepler in seinem ein Jahr später herausgegebenen Hauptwerk: Über die Bewegungen des Mars"[1]), daß der Fehler fast ganz verschwindet, wenn man den Planeten eine Ellipse beschreiben läßt, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet.

Wenige Entdeckungen sind in solchem Maße das Ergebnis mühevoller, Jahrzehnte dauernder Arbeit gewesen wie diese Entdeckung Keplers. In der an den Kaiser gerichteten Widmung führt er in scherzhaftem Tone folgendes aus: Die Astronomen hätten bisher den Mars nicht zu überwältigen vermocht. Dem trefflichen Heerführer Tycho indessen sei es in zwanzigjährigen Nachtwachen gelungen, alle Listen des Feindes auszukundschaften. Dadurch habe Kepler Mut bekommen. Und es sei ihm gelungen, Mars gefügig zu machen. Er biete nun dem Kaiser seine Dienste an, auch die Verwandtschaft des Mars, nämlich Jupiter, Venus und Merkur, in gleicher Weise zu bezwingen, doch möge man die Schatzkammer anweisen, daß sie ihm die Mittel zu diesem Feldzug auszahle. Die letzten Worte gestatten einen Schluß auf die ständige Not, in der sich Kepler bis an das Ende seines Lebens befand. Tycho war bald nach Keplers Eintreffen gestorben[2]) und letzterer zu seinem Nachfolger ernannt. Die Schatzkammer des Kaisers befand sich indessen meist im Zustande der Erschöpfung, wofür insbesondere die Goldkocher sorgten, die Rudolfs Hingabe an die Alchemie weidlich auszunutzen verstanden. Kepler klagt: ‚Ich stehe ganze Tage in der Hofkammer und bin für die Studien nichts. Ich stärke mich jedoch mit dem Gedanken, daß ich nicht dem Kaiser allein, sondern dem ganzen menschlichen Geschlechte

[1]) De motibus stellae Martis. Prag 1609, Opera omnia ed. Frisch III. 135 ff.

[2]) Am 24. Oktober 1601.

diene, daß ich nicht nur für die Gegenwart, sondern auch für die Nachwelt arbeite".

Nach dem Tode Kaiser Rudolfs wurde Keplers Lage noch schlimmer. Er erhielt eine Anstellung in Linz, wo er Mathematik lehren und Vermessungen überwachen mußte. Trotz aller Widerwärtigkeiten verlor er jedoch sein großes Ziel nicht aus den Augen. Das unwürdigste Schauspiel, das uns in der Lebensgeschichte Keplers begegnet, ist der gegen seine Mutter geführte Hexenprozeß. Eine kurze Darstellung desselben läßt uns nicht nur einen Einblick in die damals herrschenden Rechtszustände tun, sie bezeugt auch den bewundernswerten Charakter Keplers. Die Mutter des großen Astronomen lebte in einem kleinen schwäbischen Städtchen [1]. Eine ihrer Nachbarinnen erkrankte und verbreitete das Gerede, sie sei von Frau Kepler behext worden. Der Vogt des Ortes wußte die Angelegenheit zu einem Hexenprozeß aufzubauschen. Erschwerend wirkte dabei der Umstand, daß die Angeklagte bei einer Verwandten erzogen war, die man als Hexe verbrannt hatte. Einzig und allein ihrem Sohn Johannes, der von Linz herbeieilte, gelang es, die Mutter vor der Folter und dem Scheiterhaufen zu bewahren. Die übrigen Söhne hatten sich zurückgezogen, und mit Kepler befreundete Juristen besaßen nicht den Mut, für die arme, verfolgte Frau einzutreten, die bald, nachdem sie freigesprochen, infolge der erlittenen Behandlung starb. Gibt es unter den Gestalten, in denen menschliche Größe uns begegnet, eine solche, der wir größere Bewunderung zollen können, als Kepler? Die eigene Sicherheit gering schätzend, zieht er gegen den Wust eines mittelalterlichen Gerichtsverfahrens zu Felde, um die Mutter zu retten. Und während der dadurch verursachten, jahrelangen Aufregung enthüllt er die Gesetze, nach denen sich der Lauf der Welten regelt.

Unermüdlich hatte er während der ersten Jahrzehnte des 17. Jahrhunders trotz seiner untergeordneten Amtstätigkeit, die ihn nicht einmal vor der Sorge um das tägliche Brot schützte, zwei Aufgaben verfolgt. Einmal galt es, auf Grund der eigenen und der Beobachtungen Tychos Planetentafeln zu entwerfen, welche die bisherigen ungenauen Tafeln übertrafen. Die zweite, höhere Aufgabe bestand in der Begründung einer mit dem System des Koppernikus in Einklang stehenden Theorie der Planetenbewegung. Beide Aufgaben hat Kepler glänzend gelöst und

[1]) Leonberg.

daneben noch Wertvolles auf den Gebieten der Mathematik und der Optik geleistet.

Die neuen Tafeln, die in Anerkennung der Verdienste Kaiser Rudolfs um die Förderung der Astronomie die rudolfinischen genannt wurden, erschienen erst gegen das Ende Keplers[1]). Während der letzten Jahre ihrer Abfassung konnte die mühevolle Arbeit durch die von Bürgi und Neper erfundenen Logarithmen verringert werden[2]). Fast ein Jahrhundert blieben die rudolfinischen Tafeln ein unentbehrliches Hilfsmittel der Astronomen, dann erst wurden sie durch neue, bessere ersetzt.

Koppernikus hatte sich darauf beschränkt, eine zum Teil noch mit den Mängeln der geozentrischen Ansicht behaftete Beschreibung des Planetensystems zu geben. Kepler war dagegen bestrebt, gesetzmäßige Beziehungen innerhalb dieses Systems aufzudecken. Das Mißlingen seiner ersten Versuche ist darauf zurückzuführen, daß es ihm noch an genügendem Beobachtungsmaterial fehlte. Erst durch die Verbindung mit Tycho gelangte er in den Besitz desselben, und im Jahre 1609, also ein Jahrzehnt nach Tychos Tode, veröffentlichte er die Entdeckung, daß die Planetenbahnen Ellipsen seien. Damit war das seit alters geheiligte Axiom von der Kreisbewegung beseitigt. Ebensowenig konnte die Ansicht, daß die Bewegung der Himmelskörper eine gleichförmige sei, aufrecht erhalten werden. Kepler wies nach, daß ein Planet sich in der Sonnennähe schneller als in der Sonnenferne bewegt. Die Geschwindigkeiten stehen nach ihm in einem solchen Verhältnis, daß die Flächenstücke, die von dem Radiusvector, d. h. der den Planeten mit der Sonne verbindenden Geraden, beschrieben werden, für gleiche Zeiten gleiche Größen besitzen. (Siehe Abb. 41.)

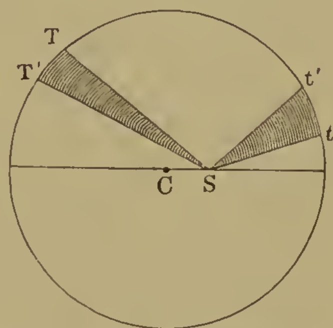


Abb. 41. Zur Erläuterung des zweiten Keplerschen Gesetzes. Werden die Stücke tt_1 und TT_1 von dem Planeten in gleichen Zeiten zurückgelegt, so ist tt_1S der Fläche nach gleich TT_1S.

1) Tabulae Rudolphinae. Ulm 1627. Opera omnia (ed. Frisch), VI. 661.

2) Bürgi, ein Schweizer (1552—1632), und Napior oder Neper, ein Schotte (1550—1617), machten die so wichtige Erfindung der Logarithmen unabhängig voneinander. Bürgi war zuerst Gehilfe an der vom Landgrafen von Hessen unterhaltenen Sternwarte zu Cassel. Später leitete er diese Sternwarte, trat aber bald nach dem Tode seines fürstlichen Gönners in den Dienst Rudolfs des Zweiten über und wurde so zum Mitarbeiter Keplers.

Damit waren die Gesetze, nach denen die Bewegung jedes einzelnen Planeten vor sich geht, enthüllt[1]). Es galt noch die Beziehung zu finden, welche alle Planeten verknüpft und sie als Glieder eines Systems erscheinen läßt. Die Lösung dieses Problems wurde erst nach einem weiteren Jahrzehnt mühevoller Arbeit gefunden und 1619 in der „Harmonice mundi" bekannt gegeben.

Seit dem Jahre 1595 brütete Kepler, wie er selbst sich einmal ausdrückt, mit der ganzen Kraft seines Geistes über die Einrichtung des Koppernikanischen Systems. Unablässig suchte er von drei Dingen die Ursache zu ergründen, nämlich von der Anzahl, der Entfernung und der Bewegung der Planeten[2]). Endlich konnte er ausrufen: „Dasjenige, dem ich den größten und besten Teil meines Lebens gewidmet habe, ist jetzt gefunden und die Wahrheit auf eine Weise erkannt, die selbst meine glühendsten Wünsche übersteigt"[3]). Die als drittes Keplersches Gesetz bekannte Beziehung zwischen den Umlaufzeiten und den Entfernungen zweier Planeten lautet dahin, daß sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die dritten Potenzen der mittleren Abstände von der Sonne verhalten[4]). Besitzt z. B. ein Planet eine Umlaufszeit von 27 Jahren, so läßt sich nach diesem Gesetze folgern, daß er neunmal soweit wie die Erde von der Sonne entfernt ist, denn $1^2 : 27^2 = 1 : 729 = 1^3 : 9^3$. Dieses Verhältnis findet sich beim Saturn annähernd verwirklicht. Er hat eine Umlaufszeit von 30 Jahren, und seine Entfernung von der Sonne ist dementsprechend etwas größer als neun Halbmesser des Erdbahn. Wir erkennen aus dieser Betrachtung, daß die genaue Bestimmung des Abstandes der Erde von der Sonne von fundamentaler Bedeutung ist. Kepler kannte die absolute Größe dieses Abstandes noch nicht. Er setzte ihn in seinen Berechnungen gleich eins, benutzte also für die Entfernungen der Planeten nur die relativen Werte.

Die naheliegende Gefahr, die entdeckten Gesetze nach Art der Pythagoreer als Ursachen zu betrachten, vermied Kepler. Versteht man unter der Ursache einer Erscheinung ihre Zurückführung auf andere, in ihrer Gesetzmäßigkeit erkannte Vorgänge, so war Kepler schon bemüht, auch nach dieser Richtung die Planetenbewegungen zu untersuchen. Die endgültige Bewältigung

1) De motibus stellae Martis, Cap. 59 (Opera, edit. Frisch, Bd. III).
2) Opera omnia (ed. Frisch) I, 106.
3) „Harmonice mundi" lib. V.
4) Opera omnia V. 279.

dieses Problems blieb jedoch Newton vorbehalten. Ihm gelang es die Zentralbewegung gleich der Fall- und Wurfbewegung aus der Schwere zu erklären. Daß die Schwerkraft nicht nur an der Oberfläche der Erde, sondern auf kosmische Entfernungen hin wirkt, hat indessen schon Kepler ausgesprochen. Seiner Ansicht nach würden zwei Körper, auf welche kein dritter wirkt, aufeinander zueilen und sich vereinigen. Und zwar würden sich, wie er ausführt, die zurückgelegten Wege umgekehrt wie die Massen der betreffenden Körper verhalten. „Liefe der Mond nicht um die Erde, so würde sich die Erde nach dem Monde um den 54. Teil des Abstandes beider Weltkörper bewegen, und der Mond würde sich um die übrigen 53 Teile nach der Erde senken. Dann würden sie aufeinander treffen, vorausgesetzt, daß beide gleiche Dichte besitzen[1]“.

Erklären ließ sich die Planetenbewegung jedoch erst als man das Gesetz vom Beharrungsvermögen auf alle Körper ausdehnte, die sich in Bewegung befinden, wie es Galilei bezüglich der Wurfbewegung getan hatte. Kepler war nämlich noch in dem Irrtum befangen, daß die Planeten zu ihrer Bewegung um die Sonne eines fortgesetzten Antriebes bedürften. Dieser sollte in der Sonnenrotation gegeben sein, die Kepler daher schon als Erklärungsprinzip forderte, bevor ihr Vorhandensein beobachtet war. Drehte sich die Sonne nicht um sich selbst, so würden nach Keplers Meinung die Planeten diesen Zentralkörper nicht umkreisen, sondern sich auf ihn stürzen, während doch in der Tat die Sonnenrotation aufhören könnte, ohne daß die Bewegungen der Planeten eine Änderung erführen. Zu erklären blieb dann noch die ungleiche Dauer, welche die Umläufe der Planeten beanspruchen. Kepler äußert sich darüber mit folgenden Worten: „Hätten die Planeten nicht ein natürliches Widerstreben, so ließe sich keine Ursache angeben, warum sie nicht der Achsendrehung der Sonne aufs genauste folgen sollten. Nun aber gehen zwar alle Planeten nach der Richtung, in welcher die Sonne rotiert, aber der eine langsamer als der andere. Sie vermengen nämlich nach gewissen Verhältnissen mit der Geschwindigkeit des

[1]) Da sich die Massen bei gleicher Dichte wie die Volumina verhalten. In Wahrheit beträgt das Volumen der Erde etwa das 50 fache von dem des Mondes, während sich die Dichten beider Weltkörper wie 1 : 0,6 verhalten. Die betreffende Stelle findet sich in Keplers Astronomia nova (Opera omnia III, 151).

Bewegers die Trägheit ihrer eigenen Masse[1]). Die bewegende Kraft der Sonne, die sich auf die Planeten erstrecken sollte, wurde von Kepler als eine Art Magnetismus betrachtet. Er berief sich dabei auf Gilbert, der ja auch die Erde als einen Magneten angesehen habe. Wie der Magnet die Nadel, so sollte nach Kepler die Sonne vermöge ihrer Rotation die Erde und die übrigen Planeten mit sich herumführen.

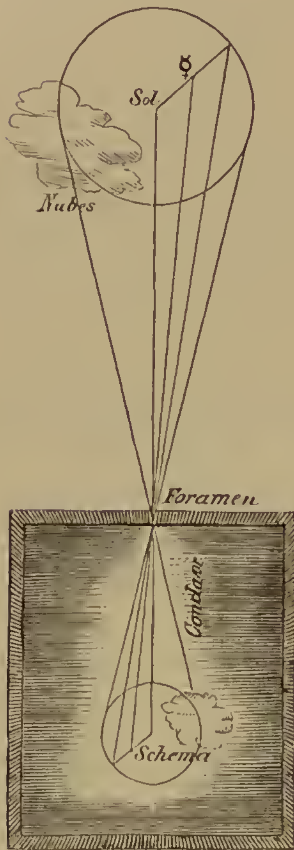


Abb. 42. Kepler erblickt einen Sonnenflecken, den er für den Merkur hält[4]).

Kepler wußte, daß die Lichtintensitäten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen des beleuchteten Gegenstandes von der Lichtquelle verhalten. Er erörtert daher die Frage, ob die Wirkungen jener bewegenden Kraft der Sonne sich nicht etwa ebenso verhalten, streift damit also schon an die Entdeckung des Newtonschen Gravitationsgesetzes.

Kepler besitzt auch ein gewisses Anrecht auf die Entdeckung der Sonnenflecken. Es war am 28. Mai des Jahres 1607, zu einer Zeit, als das Fernrohr noch nicht erfunden war, als Kepler in seinem Tagebuche eine seltsame Beobachtung vermerkte[2]). Er war nämlich mit älteren, aus der Zeit Karls des Großen stammenden Nachrichten bekannt geworden, nach welchen man Merkur vor der Sonne als kleinen, schwarzen Fleck gesehen haben wollte[3]). Um zu prüfen, ob dies möglich sei, verfuhr Kepler an einem Tage, an welchem Sonne und Merkur in Konjunktion standen, folgendermaßen: Er ließ die Sonnenstrahlen durch eine enge Öffnung in ein dunkles Zimmer treten und fing das Sonnenbild vermittelst eines Papierschirmes auf (siehe Abb. 42). Zur

1) Nach einem von Kästner in seiner Geschichte der Mathematik, Bd. IV. 360 mitgeteilten Auszug der Epitome Copernicanae Keplers.

2) Joannis Keppleri Phaenomenon singulare seu Mercurius in sole. Leipzig 1609. (Opera omnia, ed. Frisch, II, 793.

3) In Einhards Vita Caroli Magni (herausgegeben von Jaffé 1876) wird berichtet, der Merkur sei im April des Jahres 807 „quasi parva macula nigra" vor der Sonnenscheibe gesehen worden.

4) Opera omnia. II. S. 805.

großen Überraschung Keplers zeigte sich ein kleiner, verschwommener Fleck, den er für Merkur hielt.

Ohne Zweifel hat es sich in diesem, wie in jenem älteren Falle, um Sonnenflecken gehandelt, da Merkur, wie spätere Rechnungen ergeben haben, am Tage der Beobachtung sich nicht mehr vor der Sonnenscheibe befand und auch zu klein ist, um sich bei einer Konjunktion in der geschilderten Weise bemerklich zu machen.

Mehrfach hat sich Kepler auch mit den Kometen beschäftigt, die er und Tycho unter die Himmelskörper versetzten, während die meisten sie für atmosphärische Erscheinungen hielten. „Man möge es mir", sagt er, „nicht übel nehmen, daß ich eine neue Ansicht einführe oder vielmehr der alten Lehre des Anaxagoras und des Demokrit folge und dem Himmel zuschreibe, was man bisher nicht glauben wollte, daß nämlich darin ebensowohl etwas Neues entstehen könne, wie hier auf der Erde". Nach Kepler soll nämlich die überall befindliche himmlische Luft, der Äther, durch Zusammenziehung aus sich heraus die Kometen entstehen lassen, von denen der Himmel so voll sei, wie das Meer voll von Fischen. Kepler setzte sich damit in Widerspruch mit Aristoteles, der vielen damals noch als Autorität galt. Aristoteles schrieb nämlich den Himmelskörpern ein wandelloses Sein zu und ließ die Welt des Werdens und Vergehens erst unter dem Monde beginnen. Die Planeten bekunden dagegen nach ihm, zumal durch ihre ungleichmäßige Bewegung, eine mittlere Stellung zwischen beiden Regionen. Diese Lehre des Aristoteles wurde besonders durch das Aufleuchten neuer Fixsterne in den Jahren 1572, 1600 und 1604 und deren späteres allmähliches Verschwinden widerlegt.

Der Bemühungen Keplers um die Durchführung der von Gregor XIII ins Leben gerufenen Kalenderreform haben wir schon an früherer Stelle Erwähnung getan[1].

Nachdem das koppernikanische System durch Kepler eine festere Gestalt gewonnen, bedurfte es einer zusammenhängenden neuen Darstellung des gesamten astronomischen Lehrgebäudes. Dieser Aufgabe unterzog sich Kepler durch die Veröffentlichung seiner „Epitome astronomiae Copernicanae"[2]. Damit erschien das erste astronomische Lehrbuch, welches das koppernikanische System zugrunde legte, fast hundert Jahre nach der Aufstellung des letzteren.

---

[1]) S. S. 97.

[2]) Erschien 1618—1621 in Linz und Frankfurt; Opera omnia, VI, 113 u. f.

Nach Keplers Tode gab sein Sohn im Jahre 1634 ein zweites, für Lehrzwecke bestimmtes Werk des großen Astronomen heraus, in welchem letzterer mit dichterischer Phantasie es unternimmt, die astronomischen Erscheinungen so darzustellen, wie sie einem Beobachter auf dem Monde erscheinen würden. Das Buch ist betitelt „Keplers Traum oder nachgelassenes Werk über die Astronomie des Mondes“ und verdient als „eine der merkwürdigsten Schriften aus der Reformationszeit der Sternkunde“ mehr als bisher beachtet zu werden[1]). Kepler schildert darin in genial phantasievoller Weise eine Reise nach dem Monde, ein Gedanke, der vor und nach ihm häufig näher ausgeführt wurde. Als Brücke dient den Dämonen, die den Reisenden geleiten, der bei Finsternissen den Mond und die Erde verbindende Schattenkegel. Vom Monde aus werden darauf die Himmelserscheinungen beobachtet und es zeigt sich, daß mit der Veränderung des Standpunktes sich eine, von der irdischen völlig abweichende, neue Astronomie ergibt. An die Astronomie des Mondes schließen sich Mitteilungen über die Oberflächengestalt und die Natur dieses Weltkörpers, den Kepler mit Wesen seiner Phantasie bevölkert.

Erhöht wird der Wert dieser, ein Vierteljahrhundert vor ihrer Herausgabe entstandenen, Schrift durch Anmerkungen, die Kepler ihr nach und nach beifügte. In diesen Anmerkungen findet sich nämlich vieles, das auf den damaligen Stand der Astronomie und der übrigen Zweige der Naturwissenschaft ein helles Licht wirft[2]).

Der Herausgeber nennt „Keplers Traum“ eine in die schönste Form gekleidete astronomische Offenbarung, ja das hohe Lied der koppernikanischen Lehre. In den Anmerkungen, welche Kepler in den Jahren 1620 bis 1630 niedergeschrieben hat, begegnet uns zum erstenmale die Behauptung[3]), daß die vom Monde reflektierten Strahlen neben der Licht- auch eine Wärmewirkung ausüben müssen. Kepler glaubte sogar die Wärme der Mondstrahlen im Brennpunkte eines parabolischen Hohlspiegels als warmen Hauch fühlen zu können. Neuere Messungen haben jedoch gezeigt, daß die vom Monde ausgestrahlte Wärme nicht größer ist als diejenige, die eine Kerze auf 21 Fuß Entfernung ausstrahlt. Bei Kepler

---

1) Somnium Kepleri von Ludwig Kepler dem Sohne. Frankfurt 1634. Eine deutsche, mit Erläuterungen versehene Ausgabe besorgte L. Günther, Leipzig, B. G. Teubner. 1898.

2) Günther hat das Verdienst, auch diese Anmerkungen übersetzt und erläutert zu haben. L. Günther, Keplers Traum vom Monde. Leipzig 1898.

3) Günther, Keplers Traum. S. 129 u. f.

begegnet uns ferner schon die Ansicht, daß das Leben keineswegs auf die Erde beschränkt sei. Wie sich die Menschen und die Tiere der Beschaffenheit ihres Landes und ihrer Provinz anpaßten, so werde es sich auch mit den lebenden Wesen auf dem Monde verhalten [1]).

Das Jahr 1619, in welchem Kepler durch die Entdeckung des dritten Gesetzes der Planetenbewegung sein Lebenswerk krönte, war für die spätere Gestaltung seiner äußeren Lage kein günstiges. In diesem Jahre kam nämlich der fanatische Ferdinand II. auf den Kaiserthron. Die Verfolgungen der Protestanten mehrten sich. Im Jahre 1626 wurde Kepler gedrängt, seine dürftig besoldete Stelle in Linz aufzugeben. Von diesem Zeitpunkte an führte der schon alternde Mann ein sorgenvolles, unstätes Leben. Er hatte an rückständigem Gehalt nicht weniger als 12000 Gulden zu fordern. Man entledigte sich des unbequemen Mahners, indem man diese Schuld dem zum Herzog von Mecklenburg ernannten Wallenstein übertrug. Letzterer suchte Kepler wieder mit einer Professur in Rostock abzupeisen.

Nach dem Tode Wallensteins begab sich Kepler nach Regensburg, um dort auf dem Reichstage seine Forderungen geltend zu machen. Den ausgestandenen Entbehrungen und Aufregungen war sein geschwächter Köper jedoch nicht mehr gewachsen. Er erlag ihnen, bald nach seiner Ankunft in Regensburg, am 15. November 1630. Die letzte Ruhestätte hat man ihm vor den Toren dieser Stadt bereitet. Zwei Jahre später tobte dort die Furie des dreißigjährigen Krieges, wodurch jede Spur von Keplers Grab verwischt wurde.

Wie der literarische Nachlaß Galileis, so erfuhr auch derjenige Keplers ein sonderbares Schicksal. Keplers Sohn kam nur dazu, das Somnium herauszugeben. Keplers Enkel verkaufte alles an den Astronomen Hevel. Hevels Sternwarte wurde durch einen Brand vernichtet, doch wurden Keplers Manuskripte zum Glück gerettet. Sie wechselten noch mehrfach den Besitzer, bis sie, auf Veranlassung Eulers, Katharina II. für 2000 Rubel kaufte und der Petersburger Akademie überwies. Hier und später in der Sternwarte zu Pulkowa ruhten die Manuskripte unbenutzt, bis endlich ein Landsmann Keplers, Chr. Frisch in Stuttgart, die so lange vernachlässigten Schätze zu heben verstand. Als Frucht einer dreißigjährigen Arbeit gab er von 1858 bis 1871 das ge-

[1]) A. a. O. S. 174.

samte, ihm zugängliche, gedruckte und ungedruckte Material mit Einleitungen und Erläuterungen versehen als Opera omnia Joannis Kepleri in acht Bänden heraus.

Nach dieser Darstellung des Lebensganges und der astronomischen Leistungen Keplers wollen wir seine Verdienste um die Optik, als einer der wichtigsten Hilfswissenschaften der Astronomie, ins Auge fassen. Von besonderem Interesse mußte für den Astronomen das Problem der Brechung sein, an dem sich schon das Altertum mit einigem Erfolg versucht hatte. Beruhte doch auf dieser Erscheinung die astronomische Refraktion, deren genauere Bestimmung für die beobachtende Astronomie sehr wichtig war, sowie die Konstruktion des Fernrohrs, um dessen Verbesserung Kepler sich gleichfalls verdient gemacht hat.

Die Ergebnisse seiner optischen Untersuchungen hat er in zwei Werken niedergelegt, von denen das eine unter dem Titel „Supplemente zum Vitellio“ [1]) die gesamte Lehre vom Lichte berücksichtigt, während sich das zweite, die „Dioptrik“ [2]) vorzugsweise mit der Brechung beschäftigt. Was Euklid im Altertum und in späterer Zeit Alhazen auf dem Gebiete der Optik geleistet haben, wird bei weitem übertroffen durch die grundlegenden, in den genannten Werken enthaltenen Untersuchungen Keplers. Daß der letztere mit dem Gesetz der Lichtintensität bereits vertraut war, haben wir in der Erörterung seiner astronomischen Ansichten [3]) bereits erfahren. Kepler hat dieses wichtige Gesetz zuerst in voller Klarheit ausgesprochen [4]) und zwar geschieht dies in seiner ersten, dem Kaiser Rudolph gewidmeten optischen Schrift, den „Supplementen zum Vitellio“ [5]), mit deren Inhalt wir uns zunächst beschäftigen wollen. Das erste Kapitel handelt von der Natur des Lichtes. Bemerkenswert sind die Aussprüche, daß das Licht imstande sei, sich ins Unbegrenzte auszudehnen (Prop. III); daß ferner das Licht keine Zeit beanspruche, sondern sich momentan

1) Ad Vitellionem Paralipomena. Frankfurt 1604 (Gesamtausgabe von Frisch II, 119).

2) Joannis Kepleri Dioptrice. Augsburg 1611 (Gesamtausgabe von Frisch II, 515). — Keplers Dioptrik wurde neuerdings von Plehn in deutscher Übersetzung als Band 144 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1904).

3) Siehe S. 170 ds. Bds.

4) Ad Vitellionem Paralip. Cap. I, Prop. IX. (Edit. Frisch. II, 113).

5) Der vollständige Titel lautet: Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae pars optica traditur. Frankfurt 1604. Ausgabe von Frisch II. 119–397.

ausbreite (Prop. V)[1]. Den Hauptsatz der Photometrie finden wir (in Prop. IX) in folgenden Worten ausgesprochen[2]: „In dem Maße, wie die Kugelfläche, von deren Mittelpunkt das Licht ausgeht, größer oder kleiner ist, verhält sich die Stärke oder Dichte der Lichtstrahlen, welche auf die kleinere, zur Stärke derjenigen Strahlen, welche auf die größere Kugelfläche fallen."

Die Farben vermochte Kepler noch nicht zu erklären; er nahm an, daß sie aus dem verschiedenen Grad der Durchsichtigkeit und Dichte entständen, auch huldigte er der irrtümlichen Ansicht, die Brechung werde dadurch veranlaßt, daß dem dichteren Mittel ein größerer Widerstand und demgemäß ein größeres Brechungsvermögen zukomme. Indessen wurde Kepler schon bald nach dem Erscheinen seiner Schrift darauf aufmerksam gemacht, daß das weniger dichte Öl das Licht weit stärker bricht als das Wasser[3].

Wie Maurolykus befaßte sich auch Kepler mit der Frage, weshalb hinter verschieden gestalteten Öffnungen stets ein rundes Sonnenbild entsteht. Auf die richtige Erklärung kam er durch folgende geometrische Konstruktion[4]: „Ich nahm ein Buch, das mir die Stelle des leuchtenden Körpers vertreten sollte, und legte es hin. Zwischen diesem Buch und einer Wand stellte ich eine Tafel mit einer winkligen Öffnung auf. Nun befestigte ich an der einen Ecke des Buches einen Faden, zog ihn durch die Öffnung hindurch und beschrieb, indem der Faden längs den Grenzen dieser Öffnung bewegt wurde, mit Kreide, die an dem Ende des Fadens angebracht war, eine Figur auf der Wand. Diese Figur war der Öffnung ähnlich. Dies wiederholte ich, indem ich den Faden an sämtlichen Ecken und mehreren anderen Stellen des Buches befestigte. Aus sämtlichen Figuren, die ich erhielt, entstand schließlich eine einzige, welche die Gestalt des Buches hatte."

Das dritte Kapitel enthält außer den Grundlagen der Katoptrik eine Erörterung der Umstände, von denen unser Urteil über

---

[1]) Letzteres wird damit begründet, daß das Licht nichts Stoffliches sei (quia lux materia cavet).

[2]) Sicut se habent sphaericae superficies, quibus origo lucis pro centro est, amplior ad angustiorem: ita se habet fortitudo seu densitas lucis radiorum in angustiori ad illam in laxiuri sphaerica superficie.

[3]) Dies geschah durch Harriot, Epist. ad Keplerum scriptae; ed. Hauschii, 233; 1606. Siehe auch Wilde, Geschichte der Optik. I. 190.

[4]) Ad Vitellionem. cap. 2. Opera omnii II. 153. — Einen Überblick über den Inhalt dieses Werkes, das die optischen Grundlagen der Astronomie entwickelt, gibt F. Plehn im Archiv für Optik. I. Bd. S. 75 u. f. 1908.

die Entfernung eines Gegenstandes abhängt. Ohne uns dessen bewußt zu werden, nehmen wir, wie Kepler ausführt, die Entfernung der beiden Augen zu Hilfe und ermitteln den Ort des Gegenstandes durch ein Dreieck, dessen Grundlinien jener Abstand der Augen und dessen Seiten die von jedem Auge nach dem Gegenstande gezogenen Gesichtslinien sind[1]).

In den beiden letzten Abschnitten seiner Optik vom Jahre 1604 behandelt Kepler die Brechung, insbesondere die astronomische Strahlenbrechung, für welche er eine Tabelle entwirft, und die Theorie des Sehens. Da diese Gegenstände der Optik indessen in Keplers Dioptrik vom Jahre 1611 von neuem behandelt werden, wollen wir uns auf diese spätere Darstellung beschränken.

Ein Anlaß, sich von neuem mit der Optik zu beschäftigen, bot Kepler die im Jahre 1609 in Holland gemachte Erfindung des Fernrohrs. Das Ergebnis seiner nur durch geringfügige experimentelle Hilfsmittel unterstützten Erwägungen war seine „Dioptrik“. Durch diese insbesondere ist Kepler zum Begründer der modernen Optik geworden. Er ist auf diesem Gebiete das gewesen, was Galilei für die Mechanik und Gilbert für die Elektrizitätslehre war. Leider ist dieses Verdienst Keplers im Vergleich zu den Leistungen anderer Forscher viel zu wenig gewürdigt worden. Während Galilei z. B. durch seine Beschäftigung mit der Optik Ruhm und Gewinn erntete, ohne diese Wissenschaft wesentlich zu bereichern, trugen Keplers höchst wertvolle Arbeiten, welche der Wissenschaft einen neuen Impuls gaben, nichts dazu bei, das traurige Los des großen deutschen Forschers zu erleichtern[2]).

Keplers Dioptrik[3]) ist vor kurzem durch eine Übersetzung[4]) zugänglich gemacht. Wir wollen sie der im nachfolgenden gegebenen Darlegung der wichtigsten Errungenschaften, die wir Kepler auf dem Gebiete der Brechung, der optischen Instrumente und der Theorie des Sehens verdanken, zugrunde legen.

Will man sich das Verdienst Keplers um diese Dinge vergegenwärtigen, so muß man bedenken, daß man zu jener Zeit mit

---

1) Wilde, Geschichte der Optik. I. 188.

2) Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 167.

3) Joannis Kepleri Dioptrice 1611. Opera omnia II. S. 515—567.

4) Johannes Keplers Dioptrik oder Schilderung der Folgen, die sich aus der unlängst gemachten Erfindung der Fernrohre für das Sehen und die sichtbaren Gegenstände ergeben. 1611. Übersetzt und herausgegeben von Ferdinand Plehn. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 144. Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1904

dem Problem der Brechung noch so wenig bekannt war, daß man das Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel als konstant annahm. Ferner war die herrschende Theorie vom Sehen durchaus unrichtig, und bezüglich der optischen Instrumente war eine Theorie überhaupt noch nicht vorhanden.

In seiner Vorrede zur Dioptrik erklärt Kepler, die Erfindung des Fernrohres habe in ihm den Wunsch entstehen lassen, die Grundlagen dieser Erfindung auf geometrische Gesetze zurückzuführen und so für die Dioptrik das zu leisten, was Euklid für die Katoptrik geschaffen habe.

Als Erfahrungsgrundsatz stellte Kepler folgenden Satz an die Spitze: Strahlen, welche in ein dichteres Medium eintreten, nähern sich nach der Brechung innerhalb des Körpers der Senkrechten, die auf der Grenzfläche im Einfallspunkte errichtet wird. Diese Brechung bleibt dieselbe, ob nun die Strahlen ein- oder austreten.

Beim Messen der Brechung verfuhr Kepler folgendermaßen: Er bestimmte die Schattenlänge von BE (siehe EH in Abb. 43) und schob dann einen Würfel der zu untersuchenden Substanz gegen die senkrechte Platte BDE. Infolge der Brechung des Lichtes trat eine Verkürzung des Schattens um das Stück GH ein, aus deren Größe er das Verhältnis zwischen dem Einfalls- und dem Brechungswinkel berechnete. Dabei machte Kepler die Entdeckung, daß ein durch Glas gehender Lichtstrahl, dessen Einfallswinkel an der Grenze zwischen Glas und Luft größer ist als 42°, nicht in die Luft tritt, sondern an der Grenze beider Medien nach dem Gesetz der Reflexion total zurückgeworfen wird [2]. Trotz zahlreicher Messungen der Einfalls- und der zugehörigen Brechungswinkel vermochte Kepler indessen keine gesetzmäßige Beziehung zwischen beiden Größen zu finden. Zunächst ermittelte

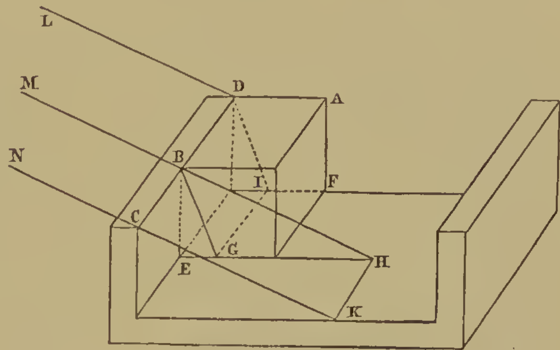


Abb. 43. Keplers Verfahren, den Brechungswinkel zu bestimmen [1].

[1]) Keplers Dioptrice, Figur zu Problema IV (Editio Frisch II, 528).

[2]) Dioptrice, XIII. Propositio (Edit. Frisch II, 530): Nullus radius, qui intra corpus crystalli super unam ejus superficiem plus 42° inclinatur a vertice, poterit illam superficiem penetrare.

er, daß das Brechungsvermögen von Bergkristall und Glas ungefähr übereinstimmt. Betrug der Einfallswinkel 0—30°, so war nach seinen Messungen das Verhältnis von Einfallswinkel und Brechungswinkel ungefähr konstant. Die bisher angenommene Proportionalität fand er jedoch nicht bestätigt. „Bei einer Neigung von 30°", heißt es nämlich[1], „beträgt die Refraktion 10°. Nach demselben Maße müßte zu einer Neigung von 90° eine Refraktion von 30° gehören; das Experiment ergibt aber 48°"[2]. Zwar suchte schon Kepler das Brechungsverhältnis zu einer trigonometrischen Linie in Beziehung zu bringen, doch gelang dies erst einige Jahrzehnte später den Bemühungen von Snellius und Descartes. Snellius entdeckte nämlich, (Abb. 44), daß der Weg (C A) eines Lichtstrahls, der aus Luft in Wasser tritt und auf eine senkrechte Wand B A fällt, sich zu dem Wege (C B), den derselbe

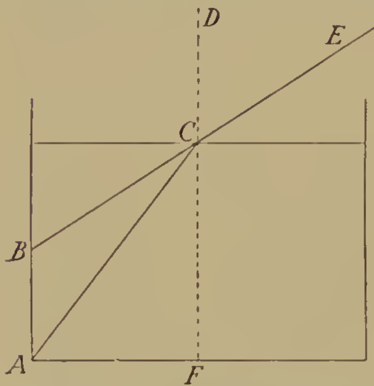


Abb. 44. Snellius entdeckt das Brechungsgesetz.

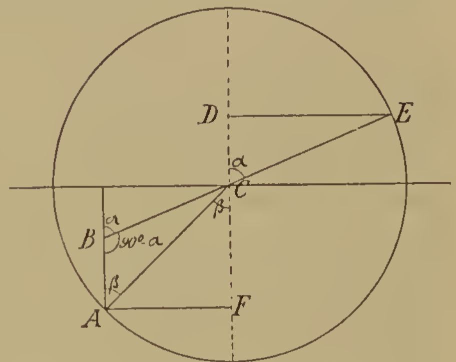


Abb. 45. Ableitung des Brechungsgesetzes.

Strahl ohne Ablenkung von seiner Eintrittsstelle bis zu jener Wand zurückgelegt haben würde, sich stets wie 3:2 verhält. Mit dem heute gebräuchlichen Ausdruck für dieses Gesetz, nach welchem der Sinus des Einfallswinkels (D C E) zum Sinus des Brechungswinkels (A C F) in einem bestimmten Verhältnis (für Luft und Wasser 3 : 2), war Snellius noch nicht vertraut[3]. In diese Form wurde das

1) Dioptrik, Lehrsatz XII.

2) Das Komplement des 42° betragenden Brechungswinkels.

3) Der von Snellius gefundene Ausdruck läßt sich leicht in den gebräuchlichen umwandeln. Man geht von der oben gegebenen Abb. 44 aus und schlägt um C einen Kreis mit CA als Einheit (siehe Abb. 45). Dann ist $\sin\alpha$ (Einfallsw.) = DE und $\sin\beta$ (Brchsw.) = AF, ferner ist A C : C B = $\sin(90 - \alpha) : \sin\beta = \sin\alpha : \sin\beta$ = D E : A F. Ist nun A C : C B konstant, und zwar für Luft und Wasser = 3 : 2, so gilt dasselbe von $\sin\alpha : \sin\beta$, da wir diesen Ausdruck gleich A C : C B gefunden haben.

Brechungsgesetz erst durch den französischen Philosophen und Mathematiker Descartes[1]) gebracht.

Obgleich Kepler weder im Besitze des strengen Brechungsgesetzes noch des Gesetzes der konjugierten Brennweiten war, das, wie wir sehen werden, erst Halley ableitete, war er doch imstande, eine im großen und ganzen zutreffende Lehre von der Wirkung der Linsen und der Linsensysteme zu geben. Er läßt zunächst parallele Strahlen auf eine plankonvexe Glaslinse fallen und findet, indem er das Brechungsverhältnis 3 : 2 zugrunde legt, daß sie sich in einer Entfernung von ungefähr dem dreifachen Krümmungshalbmesser schneiden. Für die beiderseits gleiche bikonvexe Glaslinse fällt der Brennpunkt nach einem späteren Satze der Dioptrik[2]) etwa mit dem Krümmungsmittelpunkt zusammen. Auch in diesem Falle nahm Kepler mit einer für geringe Öffnungen der Linse hinreichenden Genauigkeit an, daß sich beim Glase der Einfallswinkel zum Brechungswinkel wie 3 : 2 verhält, während dies Verhältnis ja tatsächlich nicht für die Winkel selbst, sondern für ihre Sinuswerte zutrifft. Es entging Kepler nicht, daß die vom Rande der Linse kommenden Strahlen mit den aus der Mitte kommenden nicht genau zusammentreffen[3]), eine Erscheinung, welche unter dem Namen der sphärischen Abweichung bekannt ist. Sie tritt auch an den sphärischen Hohlspiegeln auf und wurde hier schon von Roger Bacon erwähnt. Daß sie infolge der Brechung an einer Glaskugel auftritt, hatte übrigens schon Maurolykus dargetan, so daß Keplers Verdienst in dieser Hinsicht nicht groß ist. Von Kepler rührt indessen der Gedanke her, den Linsen statt der sphärischen eine hyperbolische Form zu geben, um dadurch die sphärische Abweichung aufzuheben. Er nahm nämlich mit den Anatomen seiner Zeit an, daß die Linse unseres Auge auf der hinteren Seite eine hyperbolische Gestalt habe und infolgedessen scharfe Bilder gebe, während durch die sphärische Abweichung das Bild an Schärfe verliert.

Bei seinen Ableitungen der für die Linse und für Linsenkombinationen geltenden Regeln verwendet Kepler meist zwei Strahlenkegel, deren gemeinschaftliche Basis die Linse ist, während die Spitzen mit einem Punkte des Gegenstandes und dem ent-

[1]) Descartes Dioptrik, Kapitel 2. Näheres über Descartes' Anteil an der Entdeckung des Brechungsgesetzes siehe in der bezüglichen Abhandlung von P. Kramer (Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. 4. Heft. 1882).

[2]) Lehrsatz XXXIX.

[3]) Siehe auch Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838. Bd. I. S. 201.

sprechenden Bildpunkte zusammenfallen. Die nebenstehende Abbildung enthält drei solcher Strahlenbündel, wie Kepler jedes Kegelpaar bezeichnet. Da dem Punkte E des Gegenstandes im Bilde der Punkt F, dem Punkte C dagegen der Punkt D entspricht, so ist der Satz, daß eine Linse umgekehrte Bilder liefert, ohne weiteres ersichtlich. Dieses von Kepler verfolgte Konstruktionsverfahren war eine von ihm herrührende Neuerung. Seine Vorgänger auf dem Gebiete der Optik hatten stets einzelne Strahlen verfolgt, während uns bei Kepler zum ersten Male das aus unzähligen Strahlen bestehende Strahlenbündel als Konstruktionsmittel begegnet. Mit Hilfe desselben war er imstande, die Lage und die Größe der Bilder weit richtiger zu ermitteln, als es vor ihm geschah. Kepler entdeckte beispielsweise die Eigenschaft der bikonvexen Linsen von einem Gegenstande, der sich in der doppelten Brennweite befindet, ein Bild in der gleichen Entfernung auf der entgegengesetzten Seite zu erzeugen.

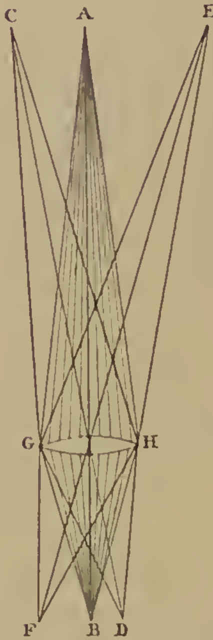


Abb. 46. Kepler beweist, daß eine Linse umgekehrte Bilder liefert.

Besondere Verdienste hat sich Kepler auch um die Theorie des Sehens erworben. Er erklärte die Netzhaut für denjenigen Teil des Auges, welcher das von der Linse erzeugte Bild auffängt und vertrat die Ansicht, es müsse nach Fortnahme der undurchsichtigen äußeren Häute des Auges auf der Netzhaut ein umgekehrtes, verkleinertes Bild des Gegenstandes zu sehen sein. Diese Annahme Keplers hat später Scheiner[1]) durch den Versuch bestätigt. Da Kepler als der erste, nachdem zahlreiche Versuche anderer vorhergegangen, eine richtige Theorie des Sehens entwickelte, so

[1]) Die Ähnlichkeit des Auges mit der Dunkelkammer findet man zuerst bei Lionardi da Vinci erwähnt. Porta, dem wir die erste Beschreibung der Dunkelkammer verdanken, betrachtete die hintere Wand des Auges als einen Hohlspiegel, von dem aus das Licht nach der Mitte des Auges gelange, um dort wahrgenommen zu werden.

Der Nachweis, daß die Linse des Auges ein Bild auf die Netzhaut wirft, erfolgte schon vor Scheiner (Arauzi 1587). Das Auge eines Tieres wurde auf der hinteren Seite mit einem Ausschnitt versehen. In diesem Ausschnitt fing man das Bild eines vor dem Auge befindlichen Lichtes auf. E. Pergens, Geschichtliches über das Netzhautbildchen und den Optikuseintritt. Klinisches Monatsblatt für Augenheilkunde. Bd. 42, I. S. 137—143.

wollen wir bei seiner sowohl in der ersten Schrift[1]) als in der Dioptrik[2]) gegebenen Darstellung dieses Vorganges noch etwas verweilen.

Keplers Vorgänger auf diesem Gebiete waren Maurolykus und Porta. Beide nahmen an, daß von jedem Punkte des leuchtenden Gegenstandes ein Strahl durch die Pupille ins Auge gelange. Das erzeugte Bild sollte nach Porta in die Kristallinse, nach Maurolykus hinter diese fallen. Nach Keplers zutreffender Annahme gehen dagegen von jedem Punkte des Gegenstandes Strahlenkegel aus, deren gemeinschaftliche Grundfläche die Pupille ist. Sämtliche Strahlenkegel werden, ähnlich wie es Abbildung 46 zeigt, durch die Kristallinse des Auges so gebrochen, daß sie hinter dieser Linse gleichfalls Kegel bilden, deren Spitzen auf der Netzhaut liegen. Letztere befindet sich an der Stelle des Schirmes der Camera obscura und ist „in einem hohlen Bogen von allen Seiten her um die Kristallinse ausgespannt“.

Sehr zutreffend und an die neuesten Theorien anklingend ist das, was Kepler über die Tätigkeit der Netzhaut sagt. Wir wollen hier mit einigen Abkürzungen seine eigenen Worte bringen: „Das Sehen“, sagt er, „ist eine Gefühlstätigkeit der gereizten und mit Sehgeist erfüllten Netzhaut; oder auch: Sehen heißt die Reizung der Netzhaut fühlen. Die Netzhaut wird mit den farbigen Strahlen der sichtbaren Welt bemalt“. Die Veränderung der Netzhaut ist jedoch nach Keplers Annahme keine nur oberflächliche, sondern eine qualitative. In der Netzhaut befinde sich nämlich ein außerordentlich feiner Stoff, „der Sehgeist“. Auf diesen wirke das durch die Linse gesammelte Licht zersetzend in der Weise, wie etwa brennbare Stoffe durch die Brenngläser verändert würden. Das so entstandene Bild sei auch von einiger Dauer. Als Beweis dafür führt Kepler die Nachbilder an, die sich zeigen, wenn man „sich von einem angeschauten Lichtglanz abwendet“. Eine Bestätigung hat diese Anschauung später durch die Entdeckung des chemisch veränderlichen Sehpurpurs gefunden[3]).

Vollkommen richtig bemerkte Kepler, daß die Abbildung des Gegenstandes auf der Netzhaut noch nicht den ganzen Sehakt ausmache, sondern, daß das Bild „durch einen geistigen Strom“ in das Gehirn übergehen und dort an den Sitz des Sehvermögens abgeliefert werden müsse.

[1]) Paralipomena in Vitellionem. Cap. V.
[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 144 (Dioptrik), S. 26—34.
[3]) Siehe an späterer Stelle dieses Werkes.

Daß nur ein einziges Bild zur Wahrnehmung gelangt, hat seinen Grund nach Kepler[1]) darin, daß die Netzhäute in gleicher Weise gereizt werden. Dementsprechend würden auch, wenn sie in ungleicher Weise gereizt würden, zwei Bilder wahrgenommen. Auch mit der Frage, weshalb wir trotz der umgekehrten Netzhautbilder die Gegenstände aufrecht sehen, hat sich Kepler beschäftigt. Doch vermochte er hierauf keine befriedigende Antwort zu geben. „Das Oben und Unten der Gegenstände", meint er, „lernen wir schon aus der Bewegung der Augen unterscheiden, da wir sie in die Höhe richten, wenn wir einen hoch befindlichen Gegenstand und nach unten, wenn wir einen tief gelegenen sehen wollen[2]).

Ferner erklärte Kepler die Kurzsichtigkeit und die Übersichtigkeit. Bei einem kurzsichtigen Auge schneiden sich, wie er ausführt, die von jedem Punkte eines Gegenstandes ausgehenden Strahlen schon innerhalb des zwischen der Linse und der Netzhaut befindlichen Glaskörpers. Sie breiten sich hinter ihrem Durchschnittspunkte wieder aus und geben daher auf der Netzhaut Lichtkreise an Stelle von Lichtpunkten. Ähnlich verhält sich das übersichtige Auge, welches die Strahlen nicht stark genug bricht, so daß die Spitzen der Strahlenkegel hinter der Netzhaut liegen[3]). Da mit der Entfernung des Gegenstandes von der Linse sich auch die Bildweite ändert, so blieb noch zu erklären, durch welchen Vorgang ein normales Auge imstande ist, die Bilder entfernter und naher Gegenstände mit gleicher Schärfe wahrzunehmen. Kepler meinte, daß dieser als Akkommodation bezeichnete Vorgang durch eine Verschiebung der Linse oder der Netzhaut geschehe[4]), während Descartes der später als richtig erkannten Ansicht zuneigte, daß die Linse infolge eines auf sie ausgeübten wechselnden Druckes bald mehr, bald weniger gekrümmt sei[5]). „Da die Netzhaut", führt Kepler aus, „in ein und derselben Lage nicht zugleich von nahen und fernen Gegenständen scharfe Bilder erhalten kann und doch bei den Menschen, welche nah und fern deutlich sehen, gleich scharfe Bilder erhält, so muß die Netzhaut inbezug auf die in der kristallenen Feuchtigkeit liegende Linse eine Ortsveränderung erleiden". Es sei wahrschein-

---

1) Dioptrik, Lehrsatz 62.

2) Wilde, Geschichte der Optik, I. S. 199.

3) Ad Vitellionem Paralipomena. Frankfurt 1604 Cap. V. Propos. XXVIII. (Edit. Frisch II, 255).

4) Kepler, Dioptrice, LXIV. Propositio (Ed. Frisch II, 540).

5) Siehe Wilde, Geschichte der Optik I, 254.

lich, meint Kepler, daß ein kräftiges, jugendliches Auge, wie es eine deutliche Bewegung in der Pupille zeige, so auch hinter der Linse die Fähigkeit habe, den Augapfel dergestalt zu verändern, daß der Augengrund sich der Linse nähere oder von ihr zurückweiche, je nach der Entfernung der Gegenstände, auf welche das Auge eingestellt werde. Vielleicht befinde sich der Sitz dieser Bewegung aber auch in jener Haut, welche die Linse in der kristallenen Feuchtigkeit festhalte und jene eigentümlichen (als Ziliarfortsätze bezeichneten) schwarzen Strahlen aussende. Kepler nahm auch an, daß das Innere des Auges flüssig sei, damit die von ihm geforderten Formveränderungen vor sich gehen könnten. Er erzählt, daß er sich mit der Erklärung des Sehens mehrere Jahre fast ausschließlich beschäftigt habe. Dafür gebührt ihm aber auch der Ruhm der Begründer der physiologischen Optik zu sein. Keplers Verdienste um die Theorie der optischen Instrumente haben wir an der Hand seiner „Dioptrik“ schon in einem früheren Abschnitt[1]) gewürdigt.

Descartes und Kepler waren der Meinung, daß das Licht zu seiner Fortpflanzung keine Zeit beanspruche. Ersterer stützte sich dabei nicht ausschließlich auf die Wahrnehmung irdischer Vorgänge, sondern zog auch astronomische Erscheinungen in Betracht. Da er jedoch nur die Verfinsterungen des Mondes ins Auge faßte, so konnte sich bei der verhältnismäßig geringen Entfernung dieses Weltkörpers, welche das Licht in einer Sekunde durcheilt, nur ein negatives Resultat ergeben[2]).

Unter den Männern, welche die astronomische Wissenschaft als Nachfolger Keplers mit Erfolg weiter pflegten, ist vor allem Hevel zu nennen. Johann Hevel[3]) wurde 1611 in Danzig geboren. Sein Lebensgang erinnert in mancher Hinsicht an denjenigen Guerickes. Hevel stammte gleichfalls aus einer alten, vermögenden Familie seiner Vaterstadt. Er studierte in Leyden Rechtswissenschaft, machte ausgedehnte Reisen, auf denen er Beziehungen zu hervorragenden Ausländern anknüpfte und bekleidete, nach Danzig zurückgekehrt, das Amt eines Ratsherrn. Die Anregung zu seinen astronomischen Arbeiten, denen sich Hevel neben seinen eigentlichen Berufsgeschäften aus Liebhaberei widmete, empfing er von einem seiner Danziger Lehrer, dem Hevel auf dem Totenbette das Versprechen geben mußte,

[1]) S. S. 124 ds. Bds.

[2]) Siehe Ostwalds Klassiker d. exakt. Wiss. Nr. 20, S. 12 u. 13.

[3]) Hevelius, eigentlich Hewelke.

den gemeinsam gepflegten Studien treu zu bleiben. Hevel baute sich 1641 eine Sternwarte. Er verfertigte nicht nur selbst alle Instrumente, deren er sich bediente — sogar die Linsen schliff er selbst — sondern er besorgte auch die Herstellung der Kupferplatten für seine Abbildungen und den Druck der letzteren.

Zum Messen benutzte Hevel noch nicht das Fernrohr, obgleich die übrigen Astronomen ihre Meßapparate schon mit dem neuen Instrument versehen hatten, sondern er bediente sich mit einem gewissen Eigensinn ausschließlich der für das unbewaffnete Auge eingerichteten Diopter. Trotzdem erreichte er eine große Genauigkeit. Ja, Halley, welcher Hevel im Auftrage der Royal Society besuchte, mußte sogar zugeben, daß seine mit dem Fernrohr erhaltenen Messungen mit denjenigen Hevels bis auf die Bogenminute übereinstimmten und oft nur um wenige Sekunden differierten.

Das größte Verdienst Hevels besteht darin, daß er die ersten genauen Karten vom Monde zeichnete und damit einen neuen Zweig der astronomischen Wissenschaft, die Selenographie, begründete. Hevels Werk [1]) über den Mond erschien als das Ergebnis einer sich über viele Jahre erstreckenden, mühevollen Arbeit im Jahre 1647. Es ist mit Recht als eins der ehrwürdigsten Denkmäler ausdauernder wissenschaftlicher Tätigkeit bezeichnet worden [2]). Leider sind die von Hevel für dieses Werk gestochenen Kupferplatten infolge der Pietätlosigkeit seiner Erben verloren gegangen. Die dunklen Flecken des Mondes (Abb. 47) hielt Hevel noch für Wasseransammlungen; er benannte sie deshalb Mare frigoris (Eismeer), Oceanus procellarum (stürmischer Ozean) usw. Um die Berge und Gebirge des Mondes zu bezeichnen, entlehnte er die Namen aus der Geographie. Es begegnen uns daher auf dem Monde der Vesuv, die Apenninen, die Karpaten usw. Zum großen Schaden für die Wissenschaft wurde Hevels Sternwarte 1679 durch eine Feuersbrunst, der auch viele Bücher und Aufzeichnungen zum Opfer fielen, zerstört.

Hevel war auch ein fleißiger Kometenforscher. Es war ihm vergönnt von 1652—1683 neun größere Kometen zu beobachten. Die hierdurch und von anderen gewonnenen Aufzeichnungen über 400 Kometen hat er in seiner Cometographia vom Jahre 1668 veröffentlicht.

---

1) Selenographia seu descriptio lunae et maculorum ejusdem.

2) Wolf, Geschichte der Astronomie. S. 396.

Hevel starb im Jahre 1687. Er hatte einen ausgedehnten Briefwechsel mit den bedeutendsten Gelehrten seiner Zeit unterhalten. Die von Hevel gesammelten Briefe umfaßten viele Folianten, sind aber von seinen Erben für einen Spottpreis verkauft

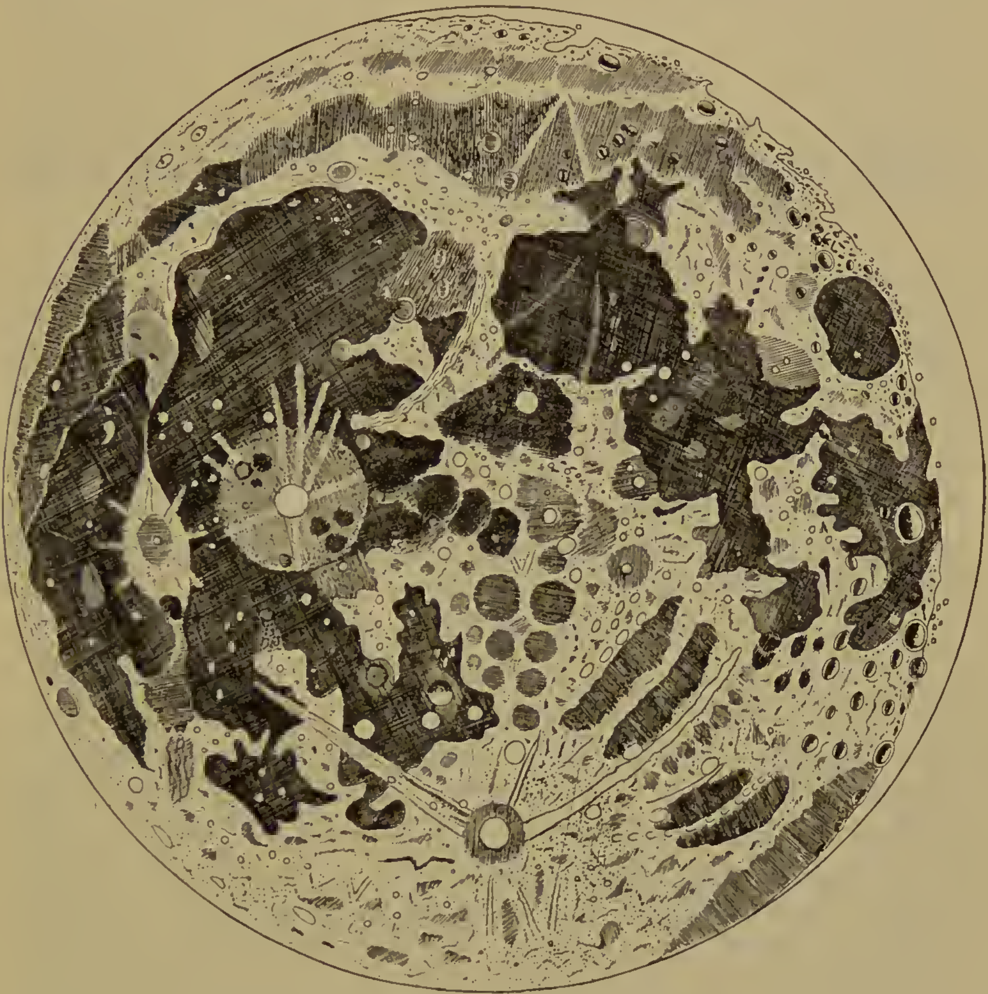


Abb. 47. Hevels Abbildung des Mondes.

worden[1]). Es verdient dies Verhalten in einer Geschichte der Wissenschaften zur Warnung für spätere Generationen und zur Mahnung an die Pflichten, welche der Staat hat, wenn dem einzelnen das Verständnis abgeht, verurteilt zu werden.

[1]) Näheres über das mutmaßliche Schicksal dieser Briefe siehe in Poggendorffs Geschichte der Physik S. 448.

6. Die Förderung der Naturwissenschaften durch die Fortschritte der Mathematik.

Die Entdeckungen der großen Erneuerer der Naturwissenschaften sind in erster Linie auf die Anwendung der Mathematik auf physikalische und astronomische Probleme zurückzuführen. Der Fortschritt in der von Galilei und Kepler eingeschlagenen Richtung war daher nicht nur an die Ausbildung und Ausbreitung des induktiven Verfahrens, sondern auch an die Weiterentwicklung der Mathematik geknüpft. Letztere nahm denn auch in diesem Zeitalter unter der Mitwirkung der bedeutendsten Naturforscher einen kräftigen Aufschwung, welcher in der nachfolgenden Periode durch Newton, Leibniz, Descartes und Huygens eine Fortsetzung erfuhr. In dem Maße, in welchem die Genauigkeit der Beobachtungen wuchs, war auch die Berechnung der Ergebnisse zeitraubender und mühseliger geworden, so daß man das Bedürfnis fühlte, an die Stelle des Multiplizierens und Dividierens großer Zahlen eine Vereinfachung treten zu lassen. Dies geschah durch die Erfindung der Logarithmen, durch welche jene Operationen auf das viel schneller zu bewerkstelligende Addieren und Subtrahieren zurückgeführt wurden. Zur Berechnung astronomischer Tafeln hat Kepler die Logarithmen, die nach einem Ausspruch von Laplace das Leben des Astronomen verlängern, indem sie die Arbeit von Monaten auf Stunden abkürzen, zum erstenmal im Jahre 1620 angewandt.

Ein großes Verdienst um die für die Allgemeinheit wie für die Wissenschaft gleichwichtige Fortbildung der Rechenkunst erwarb sich auch der Holländer Simon Stevin[1]), dessen Lebensgang und physikalische Forschungen wir an anderer Stelle kennen lernen werden. Stevin verdanken wir die erste systematische Darstellung des Rechnens mit Dezimalbrüchen. Dabei verfehlte

1) In seiner Practique d'Arithmétique von 1585.

er nicht, auf den Wert der dezimalen Schreib- und Rechnungsweise hinzuweisen und im Zusammenhange damit von den Regierungen die Einführung dezimaler Münz-, Maß- und Gewichtssysteme zu fordern[1]), ein Wunsch, der erst zweihundert Jahre später durch die Männer der französischen Revolution verwirklicht wurde.

Stevins Schreibweise für die Dezimalbrüche ist noch eine umständliche. Er fügte nämlich jeder Ziffer die Stelle, die sie einnimmt, als Index bei. Der Dezimalbruch 0,3469 z. B. nimmt dementsprechend bei ihm folgende Form an: 3① 4② 6③ 9④, Fast zur selben Zeit entstand aber nach Vietas Vorschlag die heutige Schreibweise unter Anwendung des Kommas.

Mit Zinsberechnungen war man schon im Altertum bekannt. Bei den Indern und den italienischen Kaufleuten des Mittelalters begegnen uns auch Zinseszinsberechnungen. Stevin gebührt das Verdienst, zuerst[1]) Tafeln für die Berechnung von Zinsen und Zinseszinsen veröffentlicht zu haben.

Von größtem Einfluß auf die weitere Entwicklung der Mathematik, wie auf die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften war auch die Fortbildung der algebraischen Zeichensprache und des wichtigsten Gebiets der Algebra, der Lehre von den Gleichungen.

Wir haben in früheren Abschnitten erfahren, daß in der ältesten Periode die Mathematik der Zeichen entbehrte und alle Rechnungen und Beziehungen in Worten zum Ausdruck brachte. Bald traten jedoch Fachausdrücke und Abkürzungen und endlich besondere Zeichen auf. So stellten sich gegen den Ausgang des 15. Jahrhunderts, als man in Italien noch für Plus und Minus die Abkürzungen p und m brauchte, die Zeichen + und — ein[2]).

Das Zeichen = für die Gleichsetzung ist noch jüngeren Datums. Es begegnet uns ein halbes Jahrhundert später und wird von dem Erfinder[3]) damit begründet, daß nichts gleicher sei als ein Paar paralleler Strichelchen. Klammern, Wurzeln, Summierungs- und Unendlichkeitszeichen sind noch später entstanden. Der bedeutendste Fortschritt in der Ausbildung der Algebra zu einer auf internationaler Kurzschrift beruhenden Sprache geschah jedoch durch den Franzosen Vieta mit seiner Einführung allgemeiner

---

1) Gleichfalls in seiner Practique d'Arithmétique.

2) Zuerst in dem Rechenbuch des Johannes Widmann von Eger, das 1489 in Leipzig erschien.

3) Cantor, Geschichte der Mathematik, Bd. II. S. 479.

Buchstabengrößen. Bei ihm begegnen uns auch die ersten Anfänge einer Verknüpfung der Algebra mit der Geometrie, indem er die Wurzeln gegebener Gleichungen geometrisch darstellen lehrte. Auch das Verfahren die Zahl π durch eine unendliche Reihe zu ermitteln, rührt von Vieta her. Es gelang ihm auf diesem Wege π bis auf 10 Dezimalen zu berechnen.

Franziskus Vieta wurde 1540 im Poitou geboren und starb 1603 in Paris. Er wirkte unter Heinrich IV. als Parlamentsrat und später als Mitglied des Königlichen Geheimen Rats. Vieta gilt als der hervorragendste französische Mathematiker des 16. Jahrhunderts.

Mit allgemeinen Sätzen war man in der Arithmetik schon lange vor Vieta bekannt geworden. Wollte man aber eine für das ganze Bereich der konkreten Zahlen gültige Regel ausdrücken, so mußte dieses in Worten geschehen. Ein Beispiel diene zur Erläuterung. Ausdrücke von der Form $3(4 + 2) = 3 . 6 = 3 . 4 + 2 . 3 = 12 + 6 = 18$ lassen sich für beliebig viele konkrete Fälle bilden. Man hatte auch daraus den allgemeinen Satz entnommen, daß eine Summe mit einer Zahl multipliziert wird, indem man entweder zuerst summiert und die erhaltene Zahl mit der gegebenen Zahl multipliziert oder auch, indem man die Summanden einzeln mit der gegebenen Zahl multipliziert, und die erhaltenen Produkte dann addiert. Diese umständliche Regel ließ sich in der mit Buchstabengrößen arbeitenden Algebra, zumal bald nach Vieta der Gebrauch von Klammern aufkam, auf folgenden ohne weiteres verständlichen, sämtliche möglichen konkreten Fälle umfassenden Ausdruck bringen:

$$a(b + c) = a . b + a . c.$$

Auch die Trigonometrie hat Vieta mit der Algebra zu verknüpfen verstanden, indem er lehrte, wie sich nach algebraischem Verfahren die trigonometrischen Funktionen umformen und in mannigfache Beziehungen bringen lassen. Auf diese Weise entstand durch ihn derjenige Teil der Trigometrie, den man auch wohl als Goniometrie bezeichnet. So leitete er die Formeln für $\sin n\alpha$ und $\cos n\alpha$ ab und zeigte z. B., daß $\sin 3\alpha = \sin\alpha . \cos 2\alpha + \cos\alpha . \sin 2\alpha$ ist[1]).

Der zweite große Fortschritt auf dem Gebiete der Algebra betraf die Lehre von den Gleichungen. Vieta war noch der Meinung, daß nur die positiven Wurzelwerte einer Gleichung eine

---

1) Cantor, Geschichte der Mathematik, Bd. II. 581.

Lösung darböten. Daß auch die negativen Wurzeln reell sind und überhaupt jede Gleichung so viel Wurzeln hat, als ihr Grad anzeigt, erkannten erst die Mathematiker des 17. Jahrhunderts.

Die mathematische Wahrheit, daß jede Gleichung n. Grades n Wurzeln besitzt, folgerte der Niederländer Girard 1629 in seinem Werke „Neue Entdeckung auf dem Gebiete der Algebra" aus dem von ihm erkannten Zusammenhange zwischen den Wurzeln einer Gleichung mit ihren Koeffizienten [1]). Dieser Zusammenhang ergab sich daraus, daß die Entstehung einer Gleichung n. Grades durch die Multiplikation von n Faktoren ersten Grades nachgewiesen wurde, eine Erkenntnis, deren mathematischer Ausdruck $X_n = (x - \alpha_1)(x - \alpha_2)(x - \alpha_3) \ldots (x - \alpha_n)$ ist, wenn wir mit X_n das Polynom der Gleichung und mit α_1, α_2, α_n die Wurzeln bezeichnen.

Nachdem Girard das Bildungsgesetz der Gleichungen erkannt hatte, erhielten auch die imaginären Wurzeln, mit denen man früher nichts anzufangen wußte, gleichsam ihre Daseinsberechtigung. Wenn Girard z. B. findet, daß eine bestimmte Gleichung vierten Grades neben zwei reellen noch zwei imaginäre Wurzeln liefert, so läßt er sich durch das Auftreten der letzteren nicht beirren, sondern erläutert es dahin, daß diese Wurzeln es eben sind, welche dem Bildungsgesetz Genüge leisten.

Auf Gleichungen dritten Grades kamen schon die Alten durch das Problem der Würfelverdopplung. Auch Archimedes wurde auf eine kubische Aufgabe geführt, als er eine Kugel durch eine Ebene so zu zerlegen suchte, daß die beiden Teile der Kugel in einem bestimmten Verhältnis stehen. Die Folge war, daß sich auch die Araber mit Gleichungen drittes Grades beschäftigten, ohne indessen andere als geometrische Lösungen zu finden. Die algebraische Auflösung dieser Gleichungen war daher eins der wichtigsten Probleme der neueren Mathematik. Seine Bewältigung gelang zu Beginn des 16. Jahrhunderts [2]), indem man zuerst eine Regel fand, um die Gleichung $x^3 + ax = b$ zu lösen. Um die allgemeine Lösung hat sich dann Cardano (Cardanische Formel) Verdienste erworben. Cardano erkannte, daß eine Gleichung dritten Grades drei Wurzeln hat und daß die Summe dieser Wurzeln gleich dem Koeffizienten von x^2 ist. Bei diesen Untersuchungen war man gezwungen, auch Wurzeln aus negativen

[1]) Näheres siehe Cantor II. S. 718.

[2]) Scipione del Ferro, 1508.

Zahlen zu berücksichtigen und mit solchen „imaginären" Werten wie mit algebraischen Zahlen zu rechnen.

Mit einer Gleichung vierten Grades haben sich zuerst arabische Mathematiker beschäftigt. Die Lösung gelang durch Konstruktion[1]). Die algebraische Lösung dagegen blieb einem Schüler Cardanos[2]) vorbehalten. Er führte die biquadratische Gleichung auf eine kubische zurück.

Diese Erfolge des 16. Jahrhunderts bewirkten, daß man im 17. und 18. sich eifrig um die Lösung von Gleichungen fünften und höheren Grades mühte. Alle Anstrengungen waren jedoch vergeblich. Sie führten schließlich zu dem negativen Ergebnis, daß es unmöglich sei, solche Gleichungen algebraisch aufzulösen[3]).

Eine ganz ungeahnte Wichtigkeit erhielt die Lehre von den Gleichungen, als Descartes im Jahre 1637 diesen Teil der Algebra mit der Geometrie in engste Beziehung setzte. In jenem Jahre erschien nämlich das Werk von Descartes, in welchem er die Grundlagen der analytischen Geometrie der Ebene entwickelte[4]). Descartes zeigte, daß jede gesetzmäßig entstandene Kurve auf eine Gleichung zurückgeführt werden kann, aus welcher sämtliche Eigenschaften der Kurve durch Rechnung abgeleitet werden können. Gesetzmäßig entsteht eine Kurve, wenn sie als der geometrische Ort aller Punkte zu betrachten ist, die einer bestimmten Bedingung genügen. Jene Bedingung drückt Descartes durch eine unbestimmte Gleichung zwischen zwei voneinander abhängigen Größen x und y aus, die er durch Linien darstellt. Den Grundgedanken des auf diesen Voraussetzungen beruhenden Verfahrens spricht er in folgenden Worten aus: „Indem man der Linie y der Reihe nach unendlich viele verschiedene Größen beilegt, erhält man auch unendlich viele Werte für die Linie x". Auf diese Weise sind aber, wie Descartes hinzufügt, unendlich viele Punkte bestimmt, welche der gegebenen Gleichung genügen. Verbindet man diese Punkte, so erhält man eine Kurve, welche das geometrische Bild jener Gleichung ist.

Die Möglichkeit einer analytischen Geometrie des Raumes wurde von Descartes nur angedeutet. Er bemerkt nämlich, eine dreidimensionale Kurve sei völlig bestimmt, wenn man von

---

1) Tropfke I. 285.

2) Luigi Ferrari, 1522—1565.

3) Gauß 1799 und Abel 1824.

4) Descartes' Geometrie erschien 1634. Eine deutsche Bearbeitung lieferte Schlesinger. Berlin 1894.

jedem ihrer Punkte zwei Lote auf zwei zueinander senkrechte Ebenen fälle. Auf diesen entständen dadurch ebene Kurven, die uns einen vollkommenen Begriff von dem Verlauf der Raumkurve gäben.

Descartes knüpfte zwar unmittelbar an Vieta an, den wir als den Schöpfer der algebraischen Geometrie kennen gelernt haben. Auf den Grundgedanken seines Verfahrens wurde er aber durch das Studium der Alten geführt. In der Einleitung zu seiner „Geometrie" erzählt Descartes, er habe sich mit einer Aufgabe des Pappus beschäftigt, deren vollständige Lösung den Alten nicht gelungen sei. Den Grund dafür habe er darin gefunden, daß die Aufgabe eine unbestimmte, d. h. die Zahl der Gleichungen kleiner als die der Unbekannten war. Eine Lösung ließ sich, wie Descartes erkannte, nur dadurch ermöglichen, daß man für die überzählige Unbekannte oder die überzähligen Unbekannten bestimmte Werte annahm, wodurch dann jedesmal auch die andere oder die anderen Unbekannten bestimmt waren. Allerdings ergaben sich dann soviel Lösungen, so oft man diese Operation vornahm, und statt eines bestimmten Punktes erhielt man eine Reihe von Punkten oder eine Linie, deren Punkte der gestellten Aufgabe genügten. Der große Fortschritt der Descartes'schen Methode bestand darin, daß fortan geometrische Gebilde der Rechnung unterworfen und alle geometrischen Aufgaben allgemeiner gelöst werden konnten, während das Altertum stets nur geometrische Einzelfälle betrachtete. Auch neue, für die Weiterentwicklung der Mathematik in ihrer Anwendung auf die Naturwissenschaften höchst wichtige Probleme wurden durch die neue Methode zugänglich. Eins der ersten, mit dem sich schon Descartes befaßte und an welchem sich vorzugsweise die Infinitesimalrechnung entwickelte, war die Tangentenaufgabe. Descartes stellte sie zunächst in der Fassung, daß er für einen gegebenen Punkt der Kurve die zur Tangente senkrechte Linie, die Normale, suchen lehrte. Ein Jahr nach dem Erscheinen seiner Geometrie sehen wir ihn jedoch schon mit der Konstruktion der Tangente an die Zykloide beschäftigt, jener Kurve, auf die zuerst Galilei aufmerksam geworden war[1]). Descartes' Verfahren, unbestimmte Gleichungen geometrisch zu deuten, lehrte alsbald eine Fülle neuer Kurven kennen. Erwähnt seien nur die von ihm entdeckte logarithmische Spirale und das gleichfalls von ihm ge-

[1]) Cantor, Geschichte der Mathsmatik, Bd. II. 780.

fundene und nach ihm benannte Cartesische Blatt, dessen Gleichung $x^3 + y^3 = a \cdot x \cdot y$ lautet.

Die Geometrie der Ebene wurde insbesondere durch Fermat (1601—1665), diejenige des Raumes erst ein Jahrhundert später durch Clairaut (1713—1765) weiter ausgebaut.

Fermats Verdienste um die Fortbildung der Mathematik zur wichtigsten Hilfsdisziplin der Naturwissenschaften sind so hervorragend, daß wir bei diesem Manne und seinen Leistungen etwas verweilen müssen.

Pierre Fermat wurde 1601 in der Nähe von Toulouse geboren. Er starb dort im Jahre 1665. Wir wollen Fermat, dem man den Ruhm, der bedeutendste französische Mathematiker[1]) zu sein, zuerkannt hat, als Mitbegründer der analytischen Geometrie, mit deren Problemen er sich bereits 10 Jahre vor dem Erscheinen des Descartes'schen Werkes beschäftigte, zu würdigen suchen. Auch Fermat knüpfte wie Descartes an die alte Mathematik an. Fermat bemühte sich nämlich, eine verloren gegangene und nur in Bruchstücken durch Pappus bekannt gewordene Schrift des Euklid, die sogenannten Porismen[2]), wieder herzustellen.

Fermats für die analytische Geometrie grundlegende Arbeit zeichnet sich der „Geometrie" des Descartes gegenüber durch größere Klarheit und erschöpfende Darstellung aus. Nirgends findet sich bei Descartes eine solch klare Darstellung des Grundgedankens, wie Fermat sie gleich zu Beginn seiner Arbeit gibt. Die Gleichungen, sagt er, können in bequemer Weise dargestellt werden, wenn wir zwei Strecken unter gegebenem Winkel, als welchen man am passendsten den Rechten wählt, aneinandersetzen und einen Anfangspunkt wählen. Diesen Nullpunkt bezeichnet Fermat mit N. Die Strecke, die er von dort abträgt, wird mit A (unser x), die dazu senkrechte mit E (unser y) bezeichnet. Die konstanten Werte (a, b, c. usw.) werden bei ihm durch B, D, G ausgedrückt. Die Gleichung einer Geraden, welche durch den Nullpunkt geht, begegnet uns bei Fermat zum ersten Male. Sie lautet $D \cdot A = B \cdot E$ (unser $a x = b y$). Die Parabel-

1) Cantor II, 605.

2) Über Euklids drei Bücher Porismen siehe Cantor I. S. 239 u. f. Vielleicht hängt der Ausdruck mit πείρο, ich forsche, zusammen; jedenfalls verstand man darunter einen Satz, der ein neues Problem anregte und einschloß. (Cantor I, 291.)

gleichung schreibt er $A^2 = D . E$ (unser $x^2) = a y$), die Kreisgleichung $B^2 - A^2 = E^2$ (heute $r^2 - x^2 = y^2$ usw.[1]).

Fermat war einer der ersten, der eine allgemeine Methode fand, die Maxima- und Minimaaufgaben zu lösen. Zum ersten Male begegnet uns ein hierher gehöriges Problem, und zwar in geometrischer Fassung, bei Euklid[2]. Es läuft, modern ausgedrückt, darauf hinaus, für $x . (a - x)$ den größten Wert zu finden. Die Lösung ergibt, daß dies Produkt ein Maximum ist, wenn $x = \frac{a}{2}$ gesetzt wird. Daß der Kreis bei gegebenem Umfang unter allen ebenen Figuren die größte Fläche und die Kugel bei gegebener Oberfläche unter allen Körpern den größten Rauminhalt besitzt, war den Alten gleichfalls bekannt.

Unter den neueren Mathematikern haben sich, von vereinzelten Fällen abgesehen[3], zuerst Kepler, Cavalieri und Fermat mit den in ihrer Anwendung auf das physikalische Gebiet so außerordentlich wichtigen Maxima- und Minimabestimmungen beschäftigt. Mit Keplers und mit Cavalieris Verdienst um die Begründung der neueren Mathematik werden wir uns später beschäftigen.

Fermats Methode ist diejenige, die auch heute wohl noch für eine elementare Behandlung von Maxima- und Minimaaufgaben Verwendung findet[4]. Er setzt nämlich an Stelle einer Unbekannten x einen neuen Wert $x - \Delta$, in welchem Δ (Fermat braucht dafür die Bezeichnung *E*) als eine von Null nur wenig abweichende Größe betrachtet wird.

---

1) Fermat entwickelte seine analytisch-geometrische Methode in seiner Schrift: „Ad locos planos et solidos isagoge". Die ihm Descartes gegenüber vindizierten Prioritätsansprüche sind schwer zu entscheiden, weil Fermat sich zumeist darauf beschränkte, die Ergebnisse seiner Forschungen in Paris lebenden Mathematikern (besonders Mersenne) brieflich mitzuteilen. Seine Werke und ein großer Teil seiner Briefe wurden erst längere Zeit nach seinem Tode durch seinen Sohn veröffentlicht. Fermat, Varia opera, Tolosae, 1679.

2) Elemente VI. 27.

3) Bei Regiomontan begegnet uns z. B. die Aufgabe, festzustellen, von welchem Punkte der Erdoberfläche eine 10 Fuß lange senkrechte Stange, die 4 Fuß über dem Boden endigt, am größten erscheint. Eine Lösung hat Regiomontan indessen nicht gegeben. Im 16. Jahrhundert (bei Tartaglia) begegnet uns ferner die Aufgabe, eine bestimmte Zahl so zu teilen, daß das Produkt dieser Teile multipliziert mit ihrer Differenz den größten Wert hat.

4) Methodus ad disquirendum maximum et minimum (Fermat, Opera varia S. 63 u. f.). Fermat wandte seine Methode schon 1629, also lange vor dem Erscheinen des Descartesschen Werkes an. (Cantor II, 782.)

Nachdem er den Ausdruck umgeformt, wird der Übergang von Δ zur Null vollzogen und der für x gesuchte Wert ermittelt.

Ein Beispiel Fermats, bei dem wir jedoch von seiner Ausdrucksweise absehen, möge sein Verfahren erläutern. Für $x^2(a-x)$ wird nach dem Wert von x gefragt, für den dieses Produkt den größten Wert annimmt. Für x wird $x+\Delta$ gesetzt und wir erhalten:

$$x^2(a-x) = (x+\Delta)^2(a-x-\Delta).$$

Die Ausrechnung und Umformung ergibt

$$2ax - 3x^2 + \Delta(a - 3x - \Delta) = 0.$$

Wird darin $x = 0$ gesetzt, so erhalten wir:

$$2ax - 3x^2 = 0$$

und daraus

$$x = \frac{2}{3}a.$$

Ein Mangel der von Fermat gelehrten Methode besteht darin, daß ein bestimmtes Kriterium dafür fehlte, ob der erhaltene Wert ein Maximum oder ein Minimum ist. Dies zu entscheiden vermochte man erst mit Hilfe des von Leibniz erfundenen Verfahrens der Differentialrechnung.

In dem Bestreben, die von ihm gefundene Methode auf die Naturlehre anzuwenden, wurde Fermat zu seinem Prinzip von der geringsten Wirkung[1]) geführt. Fermats Satz läuft darauf hinaus, daß die Natur, „die große Arbeiterin, welche unserer Instrumente und Maschinen nicht bedarf", alle Geschehnisse mit einem Minimum von Aufwand ablaufen lasse. Dieser Gedanke war auch den Alten nicht fremd. So erklärten sie den Bau der Bienen aus dem Streben der Natur, möglichst an Material zu sparen[2]). Der alexandrinische Physiker Heron äußerte einen ähnlichen Gedanken in bezug auf das Reflexionsgesetz. Er wies nämlich darauf hin, daß die Reflexion des Lichtes

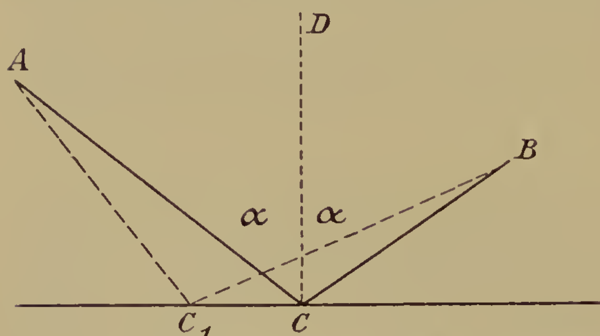


Abb. 48. Das Reflexionsgesetz, erklärt aus dem Prinzip der kleinsten Wirkung.

1) de la moindre action.

2) Der Gedanke findet sich bei Pappus. Siehe Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. S. 397.

von A nach B auf dem kürzesten Wege erfolgt, wenn der Reflexionspunkt C die Lage hat, daß der Einfallswinkel ACD gleich dem Austrittswinkel BCD ist, da jede andere Verbindung der Punkte A und B mit der spiegelnden Fläche, z. B. die Verbindung AC_1B länger ist.

Diese Betrachtungsweise übertrug Fermat zunächst auf das damals im Mittelpunkte der Erörterung stehende Brechungsgesetz. Fermats Gedankengang war etwa folgender: Daß der Lichtstrahl beim Übergang von dem dünneren zum dichteren Medium gebrochen wird, rührt daher, daß das Licht in letzterem einen größeren Widerstand findet und sich infolgedessen langsamer bewegt. Denn je größer der Widerstand ist, um so länger wird die für seine Überwindung beanspruchte Zeit sein. Die im Sinne des Prinzips der kleinsten Aktion gestellte Frage wird also lauten: Welchen Weg muß der Lichtstrahl nehmen, um mit dem geringsten Gesamtwiderstande, der sich aus den Widerständen in den beiden Medien summiert, oder was auf dasselbe hinausläuft, da ja dem kleineren Widerstande eine kürzere Zeit entspricht, um innerhalb der kürzesten Zeit von A nach B zu gelangen (Abb. 49). Fermat findet mit Hilfe seines Rechnungsverfahrens, daß dieses Minimum stattfindet, wenn sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie die Geschwindigkeiten in den zugehörigen Medien verhalten ($\sin \alpha : \sin \beta = v_1 : v_2 = n$).

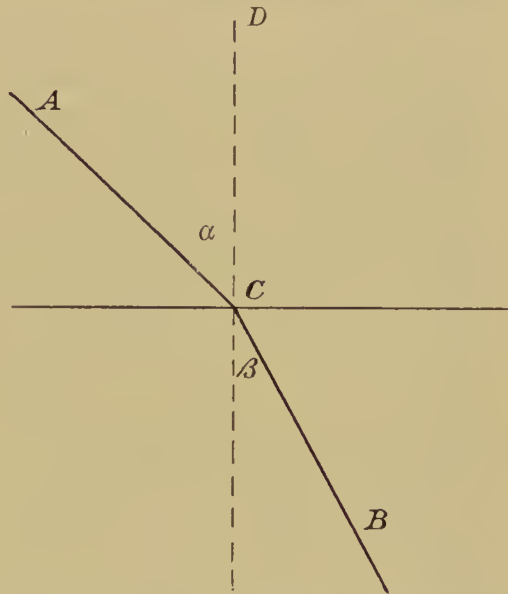


Abb. 49. Fermat erklärt das Brechungsgesetz aus dem Prinzip der kleinsten Aktion.

Fermat schloß auch umgekehrt aus dem Gesetz als einer feststehenden Tatsache auf die Zulässigkeit seines immerhin einen gewissen metaphysischen Zug aufweisenden Prinzips wenigstens für diesen Teil der Optik. Denn metaphysisch war dies Prinzip, so lange es darauf hinauslief, an Stelle des ursächlichen Wirkens der Natur gewissermaßen ein überlegtes, aus Vernunftgründen entspringendes Handeln zu setzen.

Das Prinzip der kleinsten Wirkung ist, trotzdem es das „unbestimmteste von allen Prinzipien“[1]) ist, aus dem das Wirken der Natur erklärt wird, für die weitere Folge von nicht geringem Einfluß gewesen. Auch Huygens benutzte den Fermatschen Satz. Bei der nahen Beziehung, in welcher Huygens zu Leibniz stand, läßt sich vermuten, daß der letztere seine Lehre von der prästabilierten Harmonie in Anlehnung an die Gedanken Fermats geschaffen hat. Die Mathematiker und Physikotheologen des 18. Jahrhunderts hielten gleichfalls an diesem Prinzip fest und suchten seine Allgemeingültigkeit dadurch nachzuweisen, daß sie zahlreiche Einzelfälle daraus ableiteten. Auf solche Weise äußerte das Prinzip eine sehr anregende und fruchtbare Wirkung. Viele Untersuchungen über größte und kleinste Werte, welche das 18. Jahrhundert unternahm, waren von dem Bestreben geleitet, die Naturvorgänge aus dem Prinzip der kleinsten Wirkung zu erklären. Hand in Hand damit erwuchs in der Variationsrechnung ein besonderer Zweig der Mathematik, der sich mit Maxima- und Minima-Aufgaben befaßte und allgemeingültige Regeln für ihre Lösung finden ließ. Einen vorläufigen Abschluß fanden diese Untersuchungen, an denen sich auch Johann und Jacob Bernoulli beteiligten, in Eulers Schrift vom Jahre 1744[2]). Welchen Standpunkt Euler dem Fermatschen Prinzip gegenüber einnahm, erkennen wir aus folgenden, jenem Hauptwerk entnommenen Worten: „Da die Einrichtung der Welt die vorzüglichste ist, wird nichts in ihr angetroffen, woraus nicht irgend eine Maximum- oder Minimumeigenschaft hervorleuchtet. Deshalb kann kein Zweifel bestehen, daß alle Wirkungen in der Welt durch die Methode der Maxima und Minima aus den Zwekken wie aus den wirkenden Ursachen selbst abgeleitet werden können“.

Inzwischen mehrten sich die Beobachtungen, daß auch für die organische Welt Fermats Satz als Stütze dienen könne. Der Bau der Knochen, der Federn und der Halme: alles schien darauf hinzudeuten, daß die Natur von ihren Mitteln den zweckmäßigsten und sparsamsten Gebrauch macht und insbesondere bei dem Aufbau der organischen Körper gewissermaßen nach einem

1) Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873. S. 290.

2) Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes; neuerdings in Ostwalds Klassikern Nr. 46 in deutscher Übersetzung erschienen. Leipzig, W. Engelmann. 1894.

Sparsamkeitsgesetz verfährt, das sich als ein besonderer Fall des in der Optik und Mechanik beobachteten Prinzips der kleinsten Wirkung darstellt. Letzteres wurde denn auch um die Mitte des 18. Jahrhunderts von Maupertius zur Grundlage der gesamten Naturlehre gemacht und in folgende Worte gekleidet: „Wenn in der Natur eine Veränderung vor sich geht, so ist der für diese Veränderung erforderliche Aufwand der möglichst kleinste“[1]).

Wie wir an späterer Stelle sehen werden, wurde diese, in ihren Anfängen bis ins Altertum zurückreichende Vorstellung, die Fermat klarer formulierte und das 18. Jahrhundert weiter entwickelte, erst durch schärfere mechanische Prinzipien verdrängt, als Lagrange die Neubegründung der Mechanik unternahm.

Wir kehren noch einmal zu Fermat zurück, um seine Verdienste um die Begründung der Zahlentheorie, der Kombinationslehre und der Wahrscheinlichkeitsrechnung wenigstens kurz zu erwähnen. Schienen auch diese Gebiete zuerst rein mathematisch zu sein, so sind sie im Laufe ihrer weiteren Entwicklung doch in den Dienst der Naturwissenschaften getreten. Ganz besonders gilt dies von der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Ihre ersten Anfänge begegnen uns im 15. und 16. Jahrhundert. Sie knüpfen an die Glückspiele an.

Die Begründer der Wahrscheinlichkeitsrechnung als einer mathematischen Disziplin sind Fermat und sein Zeitgenosse Pascal (1623—1662). Pascal wurde die Frage vorgelegt, bei wieviel Würfen man Aussicht habe, mit zwei Würfeln den Sechserpasch zu werfen. Als das wichtigste Mittel zur Bewältigung der Probleme der Wahrscheinlichkeitsrechnung schufen Pascal und Fermat die Kombinatorik, deren Anfänge uns schon bei den Indern begegnen.

Was Fermats Verdienst um die Theorie der Zahlen anbelangt, so sei daran erinnert, daß auch auf diesem Gebiete ein Satz, und zwar ein fundamentaler, seinen Namen führt[2]).

Um die Fortentwicklung der Kombinationslehre haben sich im 18. Jahrhundert Jacob Bernoulli und im 19. Laplace und Gauß die hervorragendsten Verdienste erworben.

---

[1]) Les lois du mouvement et du repos déduites d'un principe métaphysique. Histoire de l'Académie de Berlin 1746. p. 290.

[2]) Näheres siehe Cantor II. S. 708.

Zur selben Zeit, als Descartes an die Stelle der alten Euklidischen die analytische Geometrie setzte, begegnen uns die Anfänge einer dritten geometrischen Betrachtungsweise, derjenigen der Zentralprojektion. Daraus hat sich im 19. Jahrhundert auf Grund der Untersuchungen Poncelets und Steiners die projektivische Geometrie entwickelt, deren Sätze sich durch einen hohen Grad von Allgemeingültigkeit vor derjenigen der Euklidischen und der analytischen Geometrie auszeichnen.

In den Anfang des 17. Jahrhunderts fallen auch die ersten Schritte zur Begründung einer mathematischen Methode, deren Ausgestaltung zu einem der mächtigsten Hilfsmittel der Naturforschung Newton und Leibniz vorbehalten blieb. Dies ist die Infinitesimalrechnung. Unter den Männern, die hier als Vorläufer zu nennen sind, nimmt Kepler neben dem Italiener Cavalieri, einem Schüler Galileis, die erste Stelle ein. Schon die Alten, insbesondere Archimedes, hatten bemerkt, daß manche geometrische Aufgaben mit Hilfe der Elementarmathematik nicht gelöst werden können. Dies hatte auf die Anwendung eines unter dem Namen der Exhaustionsmethode bekannten Verfahrens geführt, vermittelst dessen z. B. Archimedes[1]) die Quadratur der Parabel gelang. Auch die von Archimedes angestellte Berechnung des Kreisumfanges mit Hilfe der ein- und umgeschriebenen Vielecke zeigt uns, wie man schon im Altertum, wenn auch in umständlicher Weise, die Rektifikation einer Kurve vorzunehmen verstand[2]).

Der weitere Fortschritt der Astronomie und der Physik war an die Entwicklung einer Methode geknüpft, die eine allgemein gültige Lösung für die Ausmessung von Kurven, der von Kurven eingeschlossenen Flächen, sowie der durch Bewegung solcher Flächen entstandenen Körper ermöglichte. Wie wichtig mußte es z. B. für Kepler sein, den Umfang der Ellipse aus der großen (a) und der kleinen (b) Achse berechnen zu können[3]). Er hat sich auch hieran versucht und gibt den Wert für diesen Umfang als nahezu gleich π (a + b) an. Daß es sich hier nur um eine Annäherung handelt, hebt Kepler ausdrücklich hervor. Auch wird ihm zweifelsohne bekannt gewesen sein, daß der Ausdruck

---

1) Archimedes (ed. Nizze) Seite 12—25. Siehe auch: Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung, Bd. I. S. 124.

2) A. a. O. S. 110—115.

3) De motibus stellae Martis: Cap. 59, 5. Opera Kepleri (ed. Frisch) III, 401.

nur gebraucht werden darf, wenn a und b wenig voneinander verschieden sind[1]).

Mit der Bestimmung des Rauminhaltes von Rotationskörpern befaßt sich Kepler in seiner Doliometrie[2]) oder Faßberechnung. Lagrange hat später von diesem Buche gerühmt, daß es ähnlich wie die Sandesrechnung des Archimedes an einem gewöhnlichen Gegenstande die erhabensten Gedanken entwickle. Ein besonderer Umstand veranlaßte Kepler, seine Betrachtungen gerade an die Raumbestimmung von Fässern anzuknüpfen. Er hatte nämlich beim Einkauf von Wein beobachtet, daß die Händler den Inhalt der Fässer bestimmten, indem sie einen Meßstab durch den Spund bis zu den gegenüber befindlichen Dauben führten, ohne auf die Krümmung der letzteren Rücksicht zu nehmen. Ein dem Fasse an Inhalt gleicher Körper entsteht, wenn der Längsschnitt um die Achse rotiert. Keplers Grundgedanke bestand nun darin, derartige Rotationskörper in eine unendliche Zahl von Elementarteilen zu zerlegen und diese zu summieren, eine Untersuchung, die er in der „Doliometrie“ auf etwa 90 Fälle ausdehnte.

Bei der Quadratur von Flächen hatten sich Archimedes und Euklid der sogenannten Exhaustionsmethode bedient, deren Wesen wir an früherer Stelle kennen lernten. Kepler dagegen bediente sich bei seinen Quadraturen und Kubaturen unendlich kleiner Größen und ging dabei von Vorstellungen aus, welche die alten Mathematiker im allgemeinen vermieden hatten. So gelten für ihn unendlich kleine Bogen als gerade Linien, unendlich schmale Ebenen als Linien und unendlich dünne Ebenen als Körper, eine Vorstellung, die später auch Cavalieri seinen Integrationen zugrunde legte.

Als Beispiel diene die Quadratur des Kreises, an welcher wir des Archimedes Exhaustionsverfahren kennen gelernt haben. Der Kreisumfang, sagt Kepler, hat unendlich viele Teile. Jedes dieser Teilchen ist als Basis eines gleichschenkligen Dreiecks anzusehen. Wir erhalten so unendlich viele Dreiecke, die sämtlich mit ihren Spitzen im Mittelpunkte des Kreises

[1]) Zeuthen, Geschichte der Mathematik im 16. und 17. Jahrhundert. Leipzig, B. G. Teubner, 1903. S. 255.

[2]) Nova Stereometria Doliorum vinariorum. Linz 1615. Opera omnia (ed. Frisch) IV, 555. Unter dem Titel „Neue Stereometrie der Fässer“ aus dem Lateinischen übersetzt und herausgegeben von R. Klug. Bd. 165 von „Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften“. Leipzig, W. Engelmann. 1908.

liegen. Werden nun die sämtlichen Grundlinien, deren Summe gleich der Peripherie ist, auf einer Geraden aneinander gefügt und mit dem Mittelpunkte des Kreises verbunden, so erhalten wir ein aus unendlich vielen Dreieckchen bestehendes größeres Dreieck, dessen Inhalt gleich dem des Kreises ist.

Auf die gleiche Weise wird der Inhalt der Kugel berechnet. „Sie enthält“, sagt Kepler, „der Möglichkeit nach gleichsam unendlich viele Kegel, deren Grundflächen sozusagen Punkte sind, während die Spitzen im Mittelpunkte der Kugel zusammenstoßen.“

Eins der lehrreichsten Beispiele für Keplers Verfahren ist seine Kubatur des Ringes. Dieser wird zunächst durch Ebenen, welche durch die Achse A gehen, in unendlich viele Scheibchen zerlegt. Diese Scheibchen sind aber nicht überall gleich dick, sondern sie sind, von ihrer eigenen Mitte aus gerechnet, nach der Achse A zu dünner und nach der entgegengesetzten Richtung dicker. Diese Unterschiede gleichen sich aber aus, und infolgedessen ist der Rauminhalt des Ringes gleich dem Inhalt eines Zylinders, dessen Grundfläche mit einer Schnittfläche des Ringes zusammenfällt, während seine Höhe gleich dem Kreise ist, den der Mittelpunkt F dieser Schnittfläche bei ihrer Rotation um die Achse A beschreibt.

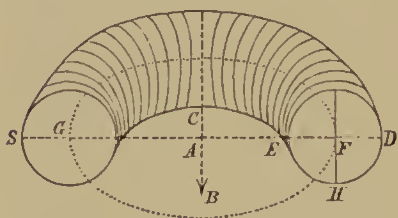


Abb. 50. Keplers Kubatur des Ringes (Opera omnia. IV, p. 575).

Zu den wenigen von den Alten betrachteten Rotationskörpern fügte Kepler eine Fülle von neuen, so daß die Gesamtzahl der von ihm betrachteten Körper sich auf 92 beläuft. Diese Mannigfaltigkeit ergab sich, indem er geradlinige Figuren und die vier Kegelschnitte um Durchmesser, Sehnen, Tangenten oder außerhalb dieser Kurven gelegene Achsen rotieren ließ (s. Abb. 51). Die entstandenen Körper benannte Kepler oft nach Früchten. So entstand sein „Apfel“, wenn ein Kreisabschnitt, der größer als der Halbkreis ist, um seine Sehne rotiert[1]). War der rotierende Kreisabschnitt dagegen kleiner als der Halbkreis, so nannte er den entstandenen Körper „Zitrone.“

Die mathematische Strenge eines Euklid und Archimedes vermochte Kepler bei seinen Ableitungen nicht zu erreichen. Dazu bedurfte es erst der weiteren Entwicklung der Infinitesimal-

[1]) Opera Kepleri IV, 584—585.

methode, die er erst begründete. In manchen Fällen mußte er sich mit Wahrscheinlichheitsschlüssen begnügen, oder er verfehlte gar die richtige Lösung des vorliegenden Einzelfalles.

Kepler hatte sich in seiner „Doliometrie“ nicht nur die Aufgabe gestellt, den Inhalt von Fässern und anderen Rotationskörpern zu berechnen, sondern er wollte zugleich untersuchen, welche Form des Fasses die zweckmäßigste sei, d. h. beim geringsten Verbrauch an Material möglichst viel fassen könne. Ein Problem von der Art des zuletzt erwähnten hat man als ein isoperimetrisches bezeichnet, und wir werden erfahren, daß auch in späteren Perioden derartige Probleme für die Entwicklung der höheren

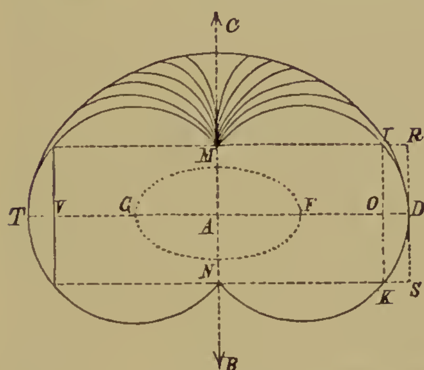


Abb. 51. Keplers Rotationskörper, den er Apfel nannte.

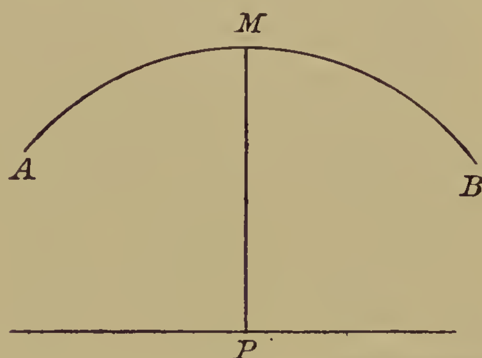


Abb. 52. Keplers Untersuchung der größten und kleinsten Werte.

Analysis von der allergrößten Wichtigkeit gewesen sind. Als Beispiel unter Keplers hierher gehörigen Betrachtungen sei der Satz erwähnt, daß der Würfel das größte Parallelepipedon ist, das in eine Kugel einbeschrieben werden kann[1]).

Kepler bemerkte auch schon, daß die Maximalwerte dadurch gekennzeichnet sind, daß in ihrer Nähe die Veränderungen einer Funktion gleich Null werden. Ist z. B. MP (Abb. 52) die größte Ordinate der Kurve AMB, so ist die Zu- und Abnahme von MP bei unendlich kleiner paralleler Verschiebung gleich Null. Kepler zeigte durch diesen für die Theorie der Maxima und Minima grundlegenden Satz, wenn er ihn auch noch nicht zu beweisen vermochte, wie tief er auch nach dieser Seite in die Infinitesimalbetrachtungen eingedrungen war. In Keplers Worten lautet dieser Satz: „An solchen Stellen, wo der Übergang von einem kleineren zum größten und wieder zum kleineren stattfindet, ist der Unterschied immer bis zu einem gewissen Grade unmerklich.“

[1]) Kepleri, Opera omnia (ed. Frisch) IV, 607—609.

Wenig später als Kepler nahm der Italiener Cavalieri[1]) das Problem der Quadratur und Kubatur gleichfalls nach einer von der Mathematik der Alten abweichenden Methode in Angriff. Dies geschah 1635 in seiner „Geometrie der Indivisibilien“[2]). Eine klare Definition des Wortes „Indivisibilien“, d. h. die „Unteilbaren“, hat Cavalieri nicht gegeben. Sein Verfahren, die Flächen auf Linien und die Körper auf Flächen zurückzuführen, hat auch wohl das Mißverständnis hervorgerufen, als ob Cavalieri die Flächen als die Summen unendlich vieler Parallelen und die Körper als die Summen von Flächen auffassen wollte, und infolgedessen Widerspruch erregt. Cavalieri weiß aber sehr wohl, daß die Summe aller parallelen Sehnen einer geschlossenen Fläche unendlich und daß das Verhältnis zwischen zwei solchen Summen unbestimmt ist. Besitzen dagegen die zahlreichen parallelen Sehnen, welche durch zwei Flächen gelegt werden, die von zwei Parallelen eingeschlossen sind, gleichen Abstand, so erhält das Verhältnis der Sehnensummen einen Wert, der sich mit der Vermehrung der Sehnen einer bestimmten Grenze nähert. Und zwar entspricht dies Verhältnis den beiden Flächen, welche durch die Sehnen zerteilt werden. Ein einfaches Beispiel möge das Gesagte erläutern. Man errichte über der Grundlinie eines Dreiecks ein Rechteck von gleicher Höhe und ziehe dann in beiden Figuren eine Anzahl Linien parallel zur Grundlinie in gleichen Abständen. Dann wird die Summe der Strecken im Dreieck halb so groß sein wie die Summe der Strecken im Rechteck. Daraus schließt Cavalieri, daß auch die Flächen im Verhältnis von 1 : 2 stehen.

Nach demselben Verfahren ergibt sich, daß eine Ellipse und ein Kreis, dessen Durchmesser mit einer Achse der Ellipse zusammenfällt, sich der Fläche nach wie die andere Achse der Ellipse zum Kreisdurchmesser verhalten.

Wird Cavalieris Methode auf körperliche Gebilde übertragen, so sind statt der Linien parallele Ebenen in gleichen Abständen zu wählen. Schneiden diese Ebenen die Körper in Flächen, die in einem gegebenen Verhältnis stehen, so gilt für die Volumina der Körper das gleiche Verhältnis. Noch heute trägt dieser Satz bekanntlich den Namen Cavalieris. Eingeschränkt auf inhalts-

---

1) Bonaventura Cavalieri wurde 1598 in Bologna geboren. Er war Schüler und später Freund Galileis. Nachdem Cavalieri in Bologna als Professor der Mathematik gewirkt hatte, starb er dort im Jahre 1647.

2) Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota.

gleiche Gebilde lautet er: Gebilde der Ebene sowie des Raumes sind inhaltsgleich, wenn die in gleicher Höhe geführten Schnitte gleiche Strecken bezw. Flächen ergeben.

Gegenüber der Methode Keplers, der sich bestimmte Aufgaben stellte, besaß die Methode Cavalieris den Vorzug größerer Allgemeingültigkeit und abstrakterer Behandlung. Trotz des Widerspruches, den beide Männer fanden, war die von ihnen eingeführte Infinitesimalbetrachtung die wertvollste Idee, welche jemals die Mathematik bereicherte. Erweisen sollte sich ihre Fruchtbarkeit zwar erst nach der Erfindung der analytischen Geometrie, aus deren Verknüpfung mit der neuen Betrachtungsweise die Differential- und Integralrechnung als das wichtigste mathematische Hilfsmittel der neueren Naturforschung hervorging.

Unter den wissenschaftlichen Gegnern Keplers und Cavalieris ist besonders Guldin zu nennen. Er befaßte sich in einem umfangreichen Werke mit der Bestimmung der Schwerpunkte von Kurven, Flächen und Körpern und zwar eingehender, als es bisher geschehen war[1]. Fußend auf einem Satz, der sich bei Pappus findet, ging Guldin gleichfalls zu Inhaltsbestimmungen über. Der Pappus-Guldinsche Satz, der heute noch als die Guldinsche Regel bezeichnet wird, besagt, daß der Rauminhalt eines Rotationskörpers gleich dem Produkt aus der erzeugenden Fläche und dem Wege ihres Schwerpunktes ist. Einen einwandsfreien Beweis dieses Satzes vermochte Guldin nicht zu geben. Seine Richtigkeit folgerte er vielmehr aus dem Umstande, daß man mit Hilfe dieser Regel zu den gleichen Ergebnissen gelangt, die sich auch auf anderen Wegen finden lassen. Seine Beispiele sind oft dieselben, die Kepler behandelt hatte. Während aber Keplers, von Guldin als unwissenschaftlich bekämpfte Methode den Keim der höheren Mathematik enthielt, ist Guldins Verfahren ohne Einfluß auf die Weiterentwicklung dieser Wissenschaft geblieben, zumal die Quadratur der gegebenen Figur und die Bestimmung ihres Schwerpunktes häufig weit schwieriger sind, als die direkte Kubatur des betreffenden Rotationskörpers[2].

Einen weiteren Schritt auf dem Gebiete der Infinitesimalbetrachtungen bedeutet die „Arithmetik des Unendlichen“ des

[1]) Das Werk Guldins erschien 1635—1641 unter dem Titel Centrobaryca. Paul Guldin wurde 1577 in St. Gallen geboren; er war Jesuit und wirkte als Lehrer der Mathematik in Rom und an anderen Orten. Guldin starb 1643.

[2]) Gerhard, Geschichte der Mathematik in Deutschland. S. 130.

Engländers Wallis[1]) (1655). Wallis wurde durch die Untersuchungen Cavalieris angeregt, sich mit Quadraturen und Kubaturen zu beschäftigen. Sie bilden den wesentlichen Inhalt seiner „Arithmetik des Unendlichen". Aus dem Titel des Werkes ist schon ersichtlich, daß Wallis im Gegensatz zu Cavalieri, der seine Ableitungen geometrisch zu gestalten suchte, vorzugsweise rechnerisch verfuhr. Dies gelang ihm, indem er die analytische Methode des Descartes auf die infinitesimale Betrachtungsweise Keplers und Cavalieris übertrug. Ob Wallis mit der Doliometrie Keplers bekannt war, ist allerdings zweifelhaft[2]).

Wallis zerlegt z. B. eine Fläche, um deren Quadratur es sich handelt, durch unendlich viele parallele Ordinaten in eine unendlich große Zahl von unendlich schmalen Parallelogrammen und sucht deren Summe zu ermitteln. Dabei bedient er sich der noch heute üblichen Form des Grenzüberganges.

1) Arithmetica infinitorum sive nova methodus inquirendi in curvilineorum quadraturam 1655. John Wallis wurde 1616 in einem kleinen Orte der Grafschaft Kent geboren und wirkte als Professor der Mathematik in Oxford. Er gehört zu den Begründern der Royal Society und starb im Jahre 1703.

2) Cantor, Geschichte der Mathematik II. S. 822.

6. Der Ausbau der Physik der flüssigen und der gasförmigen Körper.

Der erste, der sich nach dem Wiederaufleben der Wissenschaften eingehender mit der Mechanik der Flüssigkeiten beschäftigte, war der Niederländer Stevin.

Simon Stevin (Stevens) wurde 1548 in Brügge geboren und bekleidete die Stelle eines Oberaufsehers der Land- und Wasserbauten in Holland. Er starb 1620 in Leyden. Stevin und Galilei haben ihre Untersuchungen unabhängig voneinander ausgeführt. Fast zur selben Zeit, als Galilei die Grundlagen der Mechanik schuf, „feierte die archimedische, rein statische Methode ihren letzten Triumph“[1]) durch den Niederländer Stevin.

Stevin machte seine Methoden und Entdeckungen in einer Schrift bekannt, die er „Prinzipien des Gleichgewichts“ betitelte und 1586 veröffentlichte[2]). Nach seinem Tode wurde eine Sammlung seiner Schriften in französischer Sprache herausgegeben[3]).

Stevin hat sich sowohl um die Statik der festen wie der flüssigen Körper hervorragend verdient gemacht und das Prinzip der virtuellen Verschiebungen wohl früher als Galilei gekannt, allerdings ohne es wie dieser auf die flüssigen Körper auszudehnen. Stevin verwendet das Prinzip bei der Untersuchung der Rollen und Rollenverbindungen (lose Rolle, Flaschenzug, Potenzflaschenzug). Er findet nämlich, daß an ihnen Gleichgewicht herrscht, wenn die Produkte aus den Gewichten und den entsprechenden Wegen oder, was auf dasselbe hinausläuft, Geschwindigkeiten auf beiden Seiten gleich sind.

Durch eine originelle Betrachtung gelangt Stevin dann zu den Gleichgewichtsbedingungen, welche für die schiefe Ebene gelten

---

1) Rosenberger, Geschichte der Physik. II. 131.

2) De Beghinselen der Weegkonst. Leyden, 1586.

3) Les œuvres mathématiques de Simon Stevin. Leyden, 1634.

und zum Satz vom Parallelogramm der Kräfte. Diese Betrachtung, die weniger einen Beweis als eine intuitive Art des Erkennens bedeutet, läuft auf folgendes hinaus: Stevin denkt sich um das Dreieck ABC, dessen Grundlinie wagerecht verläuft, eine Kette geschlungen, die aus gleichschweren Gliedern besteht (Abb. 53) und ohne jede Reibung um das Dreieck bewegt werden kann. Eine solche Kette muß im Gleichgewicht sein, da sie sich sonst ja unaufhörlich bewegen würde. Das Gleichgewicht kann auch keine Störung erleiden, wenn man die beiden gleichschweren, symmetrischen Teile SL und VK, die sich unter der Basis des Dreiecks befinden, ganz fort läßt. Somit vermag das kürzere Kettenstück über BC dem längeren über AB das Gleichgewicht zu halten. Die Gewichte der Kettenstücke verhalten sich aber, da ihre Glieder gleiche Abstände besitzen und gleich schwer sind, wie die Seiten AB und BC. So folgt aus dieser Betrachtung der Satz, daß zwei Gewichte auf den schiefen Ebenen AB und BC im Gleichgewichte stehen, wenn sie sich wie die Längen dieser Ebenen verhalten.

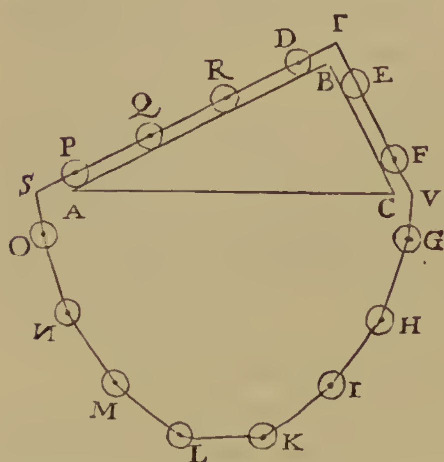


Abb. 53. Stevins Ableitung der Gleichgewichtsbedingung für d. schiefe Ebene.

Steht BC senkrecht zu AB, so haben wir das einfachere Gesetz für die schiefe Ebene, daß sich die Kraft zur Last wie die Höhe zur Länge verhält.

Indem Stevin das Gewicht auf der schiefen Ebene in einen zur schiefen Ebene parallelen und einen dazu senkrechten Teil zerlegte, gelangte er zu dem Satz vom Parallelogramm der Kräfte, allerdings in seiner Beschränkung auf statische Verhältnisse. Er selbst war von dem Ergebnis seines Nachdenkens und seiner Versuche so überrascht, daß er in den Ruf ausbricht: „Hier ist ein Wunder und doch kein Wunder“[1])!

Das größte Verdienst hat sich Stevin dadurch erworben, daß er die wichtigsten Sätze der Hydrostatik auffand. So rührt von ihm der Nachweis des hydrostatischen Paradoxons her[2]), d. h. des Satzes, daß der Bodendruck einzig von der Größe der gedrückten

1) Wonder en is gheen Wonder.
2) Stevins Werke, Seite 499. V. Buch der Statik.

Fläche und der Höhe der Flüssigkeitssäule und nicht von der Gestalt des Gefäßes abhängt. Stevin führte diesen Nachweis durch einen Versuch, (Abb. 54), den er mit folgenden Worten schildert: ABCD ist ein mit Wasser gefülltes Gefäß, in dessen Boden sich eine runde Öffnung EF befindet, die mit einer hölzernen Scheibe bedeckt ist. IRL ist ein zweites Gefäß von derselben Höhe wie das vorige und mit einer gleichgroßen Öffnung im Boden. Diese Öffnung sei gleichfalls durch eine Holzscheibe von demselben Gewicht wie die vorige geschlossen. Man findet dann durch den Versuch, daß die Scheiben nicht emporsteigen, sondern gegen die Öffnungen gepreßt werden; und zwar werden sie denselben Druck empfangen. Dies läßt sich nachweisen, indem man die gleichen Gewichte T und S anbringt, welche ebenso schwer sind wie die über der Scheibe GH befindliche Wassersäule ERQF[1].

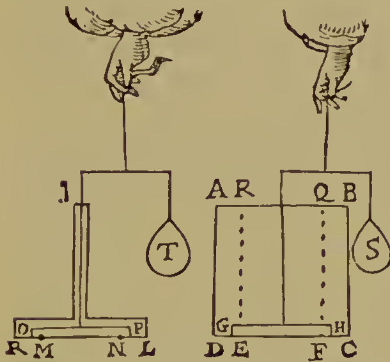


Abb. 54. Stevins Nachweis des hydrostatischen Paradoxons.

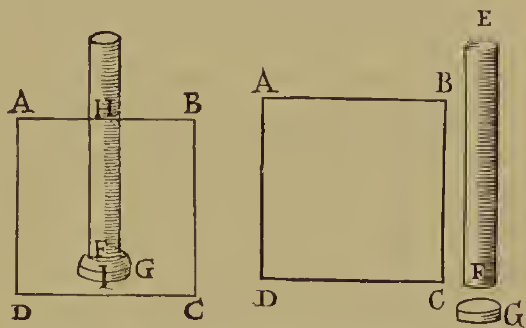


Abb. 55. Stevins Nachweis des aufwärts gerichteten Druckes.

Auf diese Weise, bemerkt Stevin, könne 1 Pfund Wasser in einer engen Röhre gegen einen Verschluß in einem weiten Gefäß oder Rohr wohl einen Druck von 100000 Pfund ausüben. Damit war ein Gedanke ausgesprochen, auf welchen die spätere Erfindung der hydraulischen Presse zurückzuführen ist.

Den aufwärts gerichteten Druck in Flüssigkeiten wies Stevin nach, indem er eine Metallplatte G (siehe Abbildung 55) gegen die beiderseits offene Röhre EF legte und das von der Platte verschlossene Ende in das Wasser hinabsenkte. Es zeigte sich, daß die Platte nicht abfällt, sondern durch den aufwärts gerichteten Druck der Flüssigkeit gegen die Röhre gepreßt wird[2].

[1]) Stevins Werke, Seite 499. Fig. 4.
[2]) Stevins Werke, S. 500. Fig. 2 u. 3.

Handelt es sich bei Stevin um die Bestimmung des Druckes, den ein Stück der Seitenwand eines mit Wasser gefüllten Gefäßes auszuhalten hat[1]), so zerlegt Stevin dieses Stück durch horizontal verlaufende Linien in eine Summe von kleinen Rechtecken. Das oberste Stück (Abb. 56) empfängt einen Druck, der größer ist als der Druck eines Wasserprismas von der Grundfläche g und der Höhe h, indes geringer als der Druck eines Prismas von der gleichen Grundfläche und der Höhe h_1. Dieselbe Betrachtung ergibt sich für alle übrigen Rechtecke. Stevin erhält dann durch Summierung einen Gesamtdruck, der zu groß, und durch eine zweite Summierung einen Gesamtdruck, der zu klein ist. Beide Summen nähern sich, wenn man die Streifen immer schmäler nimmt, dem gleichen Grenzwert.

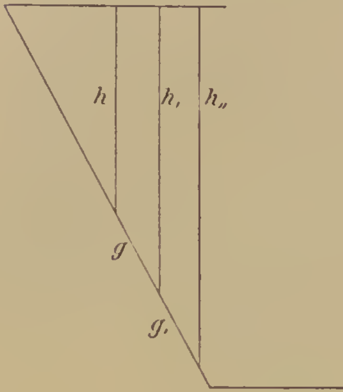


Abb. 56. Stevins Ableitung des Seitendruckes.

Endlich untersuchte Stevin noch die Gleichgewichtsbedingungen schwimmender Körper. Er fand, daß bei solchen der Schwerpunkt und der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse in einer Vertikalen liegen. Auch schwimmt ein Körper nach Stevin nur dann stabil, wenn sein Schwerpunkt unter dem Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse liegt. Und zwar schwimme er um so stabiler, je tiefer der Schwerpunkt des Körpers sich unter dem Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit befinde.

Auch Galileis Schüler dehnten ihre Untersuchungen auf die Mechanik der Flüssigkeiten und der Gase aus. Vor allem ist hier Galileis hervorragendster Schüler Torricelli zu nennen.

Evangelista Torricelli wurde 1608 als Sproß eines vornehmen Geschlechtes in Faenza geboren. Im Alter von 20 Jahren kam er nach Rom, wo er Schüler des Mathematikers Castelli wurde. Castelli hatte vorher in Pisa gelehrt und war seitdem Galileis eifriger Anhänger und Freund, der seine eigenen Schüler mit dem Geiste und dem Streben des großen Begründers der neueren Naturforschung zu erfüllen suchte. Auf besonders fruchtbaren Boden gelangten die neuen Gedanken bei Torricelli. Nach dem

[1]) Stevins Werke, Les œuvres mathématiques de Simon Stevin, herausgegeben von Girard, Leyden 1634. Des éléments hydrostatiques; Théorème IX. p. 488—491. Die betreffende Untersuchung hat Stevin im Jahre 1608 veröffentlicht (S. Cantor, Geschichte der Mathematik II. 533).

Erscheinen der Discorsi, des grundlegenden Werkes über die Mechanik[1]) verfaßte Torricelli eine Schrift über den gleichen Gegenstand, in welcher er einige der von Galilei gefundenen Bewegungsgesetze auf eine eigene Art zu beweisen suchte. Diese Schrift gelangte einige Jahre später in die Hände des großen, mittlerweile völlig erblindeten Meisters und rief in ihm den Wunsch hervor, die junge bedeutende Kraft, die sich ihm offenbart hatte, an sich zu fesseln. So kam denn Torricelli nach Florenz und verfaßte dort unter der Leitung Galileis eine Fortsetzung der „Discorsi", welche später durch Viviani veröffentlicht wurde[2]). Die gemeinsame Arbeit Galileis und Torricellis dauerte indessen nur wenige Monate. Dann wurde ihr durch den Tod des Meisters ein Ziel gesetzt. Torricelli wirkte in Florenz im Geiste Galileis weiter, bekleidet mit den Ämtern und Würden des Meisters, bis ihn im Jahre 1647 ein früher Tod ereilte.

Die wichtigste wissenschaftliche Tat Torricellis besteht darin, daß er neben der von Galilei begründeten Dynamik der festen Körper eine Dynamik der flüssigen Körper schuf. Dies geschah in einer im Jahre 1644 erschienenen Abhandlung über ausströmende Flüssigkeiten[3]), die für das Gebiet der Hydrodynamik grundlegend geworden ist. Torricelli wies nach, daß ein Strahl, der aus einem mit Flüssigkeit gefüllten Behälter seitlich heraustritt, die Form einer Parabel annimmt. Ferner zeigte er, daß die Geschwindigkeit der Flüssigkeit und mithin auch die ausfließende Menge zu der Höhe der über der Ausflußöffnung befindlichen Säule in einem bestimmten Verhältnis steht. Für die vierfache Höhe ergab sich die doppelte, für die neunfache dagegen die dreifache Geschwindigkeit, d. h. die Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen[4]).

Da den Geschwindigkeiten die Ausflußzeiten entsprechen, so folgt aus dem erwähnten Gesetz, daß die Zeiten, in welchen sich gleiche Gefäße durch gleich große Öffnungen entleeren, sich wie die Quadratwurzeln aus den Höhen der über den Öffnungen befindlichen Flüssigkeitsmengen verhalten.

---

[1]) Galilei Discorsi erschienen 1638.

[2]) Viviani, Della scienza universale delle proporzioni.

[3]) Opera geometrica. Florenz 1644, 3. Abschnitt: De motu gravium naturaliter descendentium.

[4]) $v = \sqrt{2gh}$, $v_1 = \sqrt{2gh_1}$, $v : v_1 = \sqrt{h} : \sqrt{h_1}$. Mit der Formel $v = \sqrt{2gh}$ war Torricelli noch nicht bekannt; sie rührt von Johann und Daniel Bernoulli her. Bei Torricelli ist $v = A \cdot \sqrt{h}$; worin h die Höhe und A eine Konstante bedeutet.

Befindet sich endlich die Ausflußöffnung in dem horizontalen Boden des Gefäßes, so ergibt sich nach Torricelli, daß die Ausflußmengen für gleiche Zeiten wie die ungeraden Zahlen abnehmen. Beträgt z. B. die für das Ausfließen erforderliche Gesamtzeit 6 Sekunden, und setzt man die in der letzten Sekunde ausfließende Menge gleich 1, so betrugen die Ausflußmengen in der 5., 4., 3. . . . Sekunde 3, 5, 7 . . .

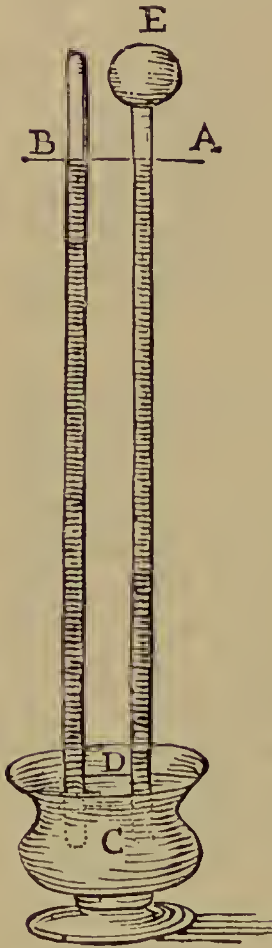


Abb. 57. Torricellis Versuch[2]). Torricelli, Esperienza dell Argento Vivo.

Auch die Dynamik der festen Körper wurde durch Torricelli weiter ausgebaut. So hat er sich mit der Wurfbewegung beschäftigt und z. B. gezeigt, daß die Wurfweite für den Neigungswinkel $45^0 + \alpha$ gleich derjenigen für den Winkel $45^0 - \alpha$ ist.

Am bekanntesten ist Torricelli durch die Erfindung des Quecksilberbarometers geworden. Anknüpfend an die von Galilei erwähnte Beobachtung[1]), daß Wasser dem Kolben einer Pumpe nur bis zu einer gewissen Höhe (10 m) folgt, untersuchte Torricelli, wie weit wohl Quecksilber, das etwa 14 mal so schwer wie Wasser ist, von dem vermeintlichen Horror vacui emporgehoben wird. Der auf Torricellis Veranlassung von Viviani angestellte Versuch zeigte, wie Torricelli vorausgesagt, daß die Steighöhe des Quecksilbers in demselben Maße geringer ist, wie sein spezifisches Gewicht dasjenige des Wassers übertrifft. Beide Forscher führten im Jahre 1643 den Versuch in der in Abb. 57 dargestellten Weise aus. Sie nahmen ein Rohr von zwei Ellen Länge, füllten es mit Quecksilber und kehrten es in einem mit Quecksilber gefüllten Behälter um, indem sie das offene Ende des Rohres verschlossen. Nachdem der Verschluß aufgehoben war, sank das Quecksilber bis zu einer Höhe von $1^1/_2$ Ellen herab und blieb dort in der Schwebe.

---

1) Siehe Ostwalds Klassiker Nr. 11 S. 17.

2) Siehe das 7. Heft der „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus", herausgegeben von Professor Dr. G. Hellmann: Evangelista Torricelli, Esperienza dell' Argento Vivo. Berlin. A. Asher & Co. 1897.

Das Vakuum, das sich hierbei über dem Quecksilber bildet, wurde in der Folge als die Torricellische Leere bezeichnet. Der Apparat selbst ist ein Barometer, da die Höhe der Quecksilbersäule der Größe des Luftdruckes entspricht. Die Schwankungen, welche man an diesem Instrument beobachtet, erklärte Torricelli aus den Änderungen des Luftdruckes. Die Lehre vom Horror vacui war jedoch dermaßen eingewurzelt, daß erst die überzeugende Kraft, welche den Versuchen Pascals und Guerickes innewohnte, jenes unrichtige Prinzip aus der Physik verschwinden ließ.

Über die Versuche, welche die Accademia del Cimento mit dem Barometer, sowie über das Verhalten im Vakuum anstellte, wurde schon an anderer Stelle berichtet [1]).

Erst dem Franzosen Blaise Pascal, einem scharfsinnigen Kopf, der sich auch durch seine gegen die Jesuiten gerichteten „Lettres provinciales" einen Namen in der französischen Literatur gemacht hat, gelang es, die Frage, ob ein Horror vacui oder der Luftdruck die Flüssigkeiten in der Schwebe hält, durch einen entscheidenden Versuch zu lösen.

Blaise Pascal wurde 1623 in Clermont geboren. Sein Vater zog bald darauf nach Paris und verkehrte dort mit bedeutenden Gelehrten wie Roberval und Mersenne. Dadurch fand das in dem jungen Pascal frühzeitig sich regende mathematische Talent die erste Nahrung. Es wird erzählt, daß Pascal, bevor er mathematischen Unterricht genossen, den Satz von der Winkelsumme im Dreieck fand und als Zehnjähriger eine Abhandlung über den Klang verfaßte. Dazu soll ihn die Beobachtung veranlaßt haben, daß ein zum Tönen gebrachtes Trinkglas bei der Berührung verstummt. Gewiß ist, daß Pascal mit 16 Jahren ein Buch von wissenschaftlichem Wert über die Kegelschnitte schrieb und dadurch die Aufmerksamkeit von Descartes auf sich lenkte.

Pascals Verdienste sind besonders auf dem Gebiete der Mathematik zu suchen. Allzu angestrengte Tätigkeit untergrub seine wenig feste Gesundheit schon im jugendlichen Alter. Er wurde schließlich religiös schwermütig und starb 1662 im Alter von 39 Jahren.

Die Kunde von Torricellis Versuch gelangte durch Mersennes ausgedehnten Briefwechsel nach Frankreich [2]). Pascal wiederholte den Versuch mit Quecksilber und mit Wasser, das er in 40 Fuß lange Röhren einschloß, hielt aber zunächst an der Lehre vom Horror

[1]) Siehe S. 73 u. 74 dies. Bds.

[2]) Torricelli hatte zuerst Ricci in Rom darüber geschrieben und dieser Mersenne berichtet.

vacui fest. Als jedoch Torricellis Erklärung in Frankreich bekannt wurde, stimmte er ihr lebhaft zu, erkannte aber, daß es noch eines entscheidenden Versuches bedürfe. Dieser Versuch Pascals[1]) bestand darin, das Torricellische Vakuum mehrere Male an einem Tage in derselben Röhre und mit demselben Quecksilber hervorzurufen, und zwar das eine Mal am Fuße, das andere Mal auf dem Gipfel eines Berges, um zu prüfen, ob die Höhe des in der Röhre schwebenden Quecksilbers in beiden Fällen dieselbe oder verschieden sei[2]). War nämlich die Quecksilbersäule auf dem Gipfel kürzer als am Fuße des Berges, so mußte daraus geschlossen werden, daß der Luftdruck das Quecksilber in der Schwebe hält. „Es ist leicht ersichtlich“, sagt Pascal, „daß am Fuße des Berges eine größere Luftmenge einen Druck ausübt als auf dem Gipfel, während kein Grund vorliegt, daß die Natur in der unteren Region einen größeren Abscheu vor der Leere empfinden sollte als in der oberen.

Der Versuch, den Pascal nicht selbst anstellte, sondern durch seinen Schwager Périer auf dem Gipfel des 4300 Pariser Fuß hohen Puy de Dôme ausführen ließ, entsprach ganz dieser Erwartung. Périer stellte am Fuße des Berges in Clermont in zwei Gefäßen das Vakuum her. Es zeigte sich, daß das Quecksilber in beiden Röhren dieselbe Höhe von 26 Zoll $3^1/_2$ Linien hatte. Darauf ließ er eine Röhre in ihrem Gefäße, ohne den Versuch zu unterbrechen; er merkte die Höhe der Quecksilbersäule auf dem Glase an und bat jemanden, sorgfältig und unausgesetzt während des ganzen Tages darauf zu achten, ob eine Änderung einträte. Mit dem zweiten Apparat begab er sich in Begleitung mehrerer Personen auf den Gipfel des Puy-de-Dôme und stellte dort, 500 Toisen oberhalb des ersten Ortes, in der gleichen Art denselben Versuch an, den er vorher am Fuße gemacht hatte. Es zeigte sich, daß die Höhe der Quecksilbersäule jetzt nur noch 23 Zoll und 2 Linien betrug, während sie in Clermont in derselben Röhre 26 Zoll $3^1/_2$ Linien betragen hatte, so daß der Unterschied in der Höhe der Quecksilbersäulen bei diesen beiden Versuchen sich auf 3 Zoll $1^1/_2$ Linien belief. Dies erfüllte alle mit Bewunderung und Erstaunen.

---

[1]) Zu dem Descartes, wie er in Briefen mitteilt, Pascal angeregt haben will.

[2]) Pascal, Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs, Paris 1648. Neuerdings erschienen als 2. Heft der „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus“, herausgegeben von Professor Dr. G. Hellmann Berlin, A. Asher & Co.

Später stellte Périer beim Abstieg denselben Versuch mit den gleichen Apparaten an und zwar 150 Toisen oberhalb Clermonts. Dort fand er, daß die Höhe der Quecksilbersäule 25 Zoll betrug. „Dies verschaffte uns“, schrieb Périer, „keine geringe Genugtuung, da wir sahen, daß die Höhe der Quecksilbersäule sich entsprechend der Höhe des Ortes verminderte.“

Nach Clermont zurückgekehrt, fand er dort an dem Apparat, den er unverändert zurückgelassen, denselben Stand der Quecksilbersäule wie bei seinem Aufbruch, nämlich 26 Zoll $3^1/_2$ Linien. Die Person, welche zur Beobachtung zurückgeblieben war, berichtete, daß während des ganzen Tages darin keine Änderung eingetreten sei.

Am folgenden Tage wurde Périer der Vorschlag gemacht, denselben Versuch am Fuße und auf der Spitze des höchsten Turmes Clermonts zu wiederholen, um zu erproben, ob in diesem Falle ein Unterschied bemerkbar sei. Auch dieses Mal fand er einen Unterschied in der Höhe der Quecksilbersäule, der sich allerdings nur auf wenige Linien belief.

Außer seinem Bergexperiment ersann Pascal noch einen zweiten Versuch, um den Luftdruck als die Ursache des Torricellischen Phänomens nachzuweisen. Er verband mit der beiderseits offenen Röhre ab die U-förmig gebogene Röhre cd. Die Stücke ab und cd hatten jedes die Länge der für den Torricellischen Versuch gebräuchlichen Röhre, d. h. sie waren jedes etwa einen Meter lang, und das Ganze stellte sich als ein Übereinander zweier Torricellischen Röhren dar. Die verbundenen Röhren wurden darauf ganz mit Quecksilber gefüllt und mit dem Ende a in Quecksilber getaucht, während man a und b mit den Fingern geschlossen hielt. Öffnete Pascal darauf a allein, so fiel das Quecksilber in cd ganz in den unteren Teil der oberen U-Röhre, bis es in beiden Schenkeln in gleichem Niveau stand. Gleichzeitig sank das Quecksilber in der Röhre ab bis zum herrschenden Barometerstande, und der Finger bei b wurde durch den äußeren Luftdruck fest gegen die Öffnung gepreßt. Es war also damit dasselbe erreicht, als ob man für das obere Barometer den Druck der äußeren Luft gänzlich entfernt hätte. Öffnete man nämlich jetzt b, so stieg das Quecksilber im oberen Barometer cd auf den gewöhnlichen Stand, gleichzeitig aber sank es in ab ganz herab.

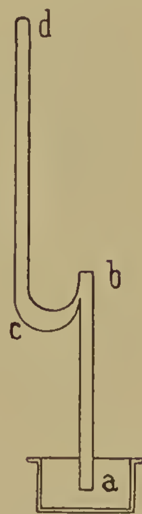


Abb. 58. Pascals Abänderung des Torricellischen Versuches.

Pascal unternahm es darauf, die Statik der gasförmig-flüssigen und der bezüglich des Druckes ähnlichen Gesetzen folgenden tropfbar-flüssigen Körper in einer Abhandlung darzustellen. Sie nimmt infolge ihrer klaren Fassung und ihrer überzeugenden Versuche einen hervorragenden Platz unter den physikalischen Schriften des 17. Jahrhunderts ein und führt den Titel[1] „Abhandlung über das Gleichgewicht der Flüssigkeiten". Sie erläutert zunächst, welche Fülle alltäglicher Erscheinungen als Wirkungen des Luftdruckes aufzufassen sind So wird das Saugen, Schröpfen, Pumpen, Hebern usw., irrtümlicherweise aber auch die Adhäsion geschliffener Platten darauf zurückgeführt. Der bedeutendste Schritt, den Pascal tut, ist die Erkenntnis, daß die durch den Luftdruck und die durch den Druck einer tropfbaren Flüssigkeit hervorgerufenen Erscheinungen einander völlig entsprechen. Als Beispiel für die Art, wie Pascal den experimentellen Nachweis führte, wählen wir seinen Versuch, das Fließen des Hebers durch den Wasserdruck hervorzurufen. Er tauchte die gabelförmig gestaltete, an allen drei Enden offene Röhre abc mit den Schenkeln a und b in Quecksilbergefäße, die sich unter Wasser befanden (Abb. 59). War das Wassergefäß, in welches die ganze Vorrichtung hinabgesenkt wurde, hinreichend tief, so stieg das Quecksilber, bis sich die Säulen vereinigten; und von diesem Augenblicke an floß es von dem höher gelegenen Gefäße d infolge des vorhandenen Druckunterschiedes nach dem tieferen Gefäße e.

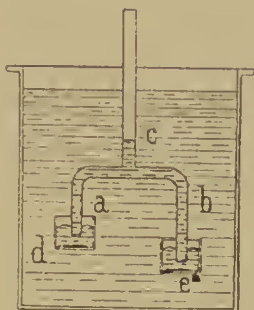


Abb. 59. Pascals durch den Druck des Wassers in Tätigkeit gesetzter Hebel.

Für die Hydrostatik hatten zwar Galilei und ganz besonders Stevin neue Grundlagen geschaffen, doch hat Pascal denselben Gegenstand unabhängig von jenen mit großer Klarheit und unter Hervorkehrung wesentlich neuer Gesichtspunkte behandelt. Pascal gründet seine hydrostatischen Untersuchungen auf den Satz, daß sich der Druck in Flüssigkeiten nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzt. Ferner wendet er nach dem Vorgange Galileis das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten oder Verschiebungen auf die Hydrostatik an; doch bekundet Pascals Auffassung einen wesentlichen Fortschritt. Er betrachtet jede Flüssigkeit, die von festen Körpern begrenzt wird, als eine Maschine, an welcher die

[1]) Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air. Paris 1663. Verfaßt wurde diese Abhandlung schon im Jahre 1653.

Kräfte, wie an dem Hebel und den anderen einfachen Maschinen, nach bestimmten Verhältnissen ins Gleichgewicht gesetzt werden. Betrachten wir z. B. mit Pascal zwei kommunizierende, durch Kolben abgeschlossene Gefäße. Die Kolben seien durch den Oberflächen proportionale Gewichte belastet. In diesem Falle ist Gleichgewicht vorhanden. Es sind nämlich bei jeder Verschiebung dieses Systems die nach den entgegengesetzten Richtungen geleisteten Arbeiten einander gleich. Oder, um die Beziehung zur Mechanik der festen Körper, für welche das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten zuerst entwickelt wurde, hervortreten zu lassen, die geschilderte hydrostatische Vorrichtung entspricht in ihrer Wirkungsweise vollkommen einem Hebel mit zwei ungleichen Armen. „Man muß“, sagt Pascal, „bewundern, daß sich in dieser neuen Maschine“, nämlich der von einem Gefäß und zwei verschiebbaren Kolben begrenzten Flüssigkeit, „jene beständige Ordnung wieder findet, die für den Hebel, die Rolle usw. gilt, daß sich nämlich die Wege umgekehrt wie die Kräfte verhalten. Dies kann man sogar als die wahre Ursache jener Wirkung betrachten. Denn offenbar ist es dasselbe, ob man 100 Pfund Wasser einen Zoll Weges oder ein Pfund Wasser einen Weg von 100 Zoll zurücklegen läßt“ [1]).

Erwähnt sei noch, daß Pascal im Verfolg des soeben beschriebenen Versuches das Barometer als Instrument zum Messen von Höhen in Vorschlag bringt und das Gewicht der gesamten Atmosphäre auf 8 Trillionen Pfund berechnet.

Auch die atmosphärischen Bewegungen wurden, nachdem der Luftdruck als die Ursache zahlreicher physikalischer Erscheinungen erkannt war, auf Gleichgewichtsstörungen dieses Druckes zurückgeführt. Torricelli war der erste, der aus diesem physikalischen Prinzip die Luftströmungen zu erklären suchte [2]). Er nahm an, daß zwischen Gegenden verdünnter und solchen dichterer Luft ein Ausgleich durch eine Strömung stattfinde, die sich uns als Wind bemerkbar mache. Als ein Beispiel hierfür galt ihm die besonders in Italien auffallende Erscheinung, daß an warmen Frühlingstagen ein kühler Wind aus den Pforten größerer Kirchen hervorbricht. „Die Luft“, so lautet seine Erklärung, „ist in großen Gebäuden um diese Zeit bedeutend kühler und schwerer, als die Luft in ihrer Umgebung. Daher fließt sie an der Pforte heraus, wie Wasser es tun würde,

1) Pascal, Oeuvres III. p. 85—86.

2) In seinen akademischen Vorlesungen (Lezioni academiche), die 1715 in Florenz erschienen, und zwar in der 7. Vorlesung.

wenn man es in das Gebäude eingeschlossen hätte und dann plötzlich eine seitliche Öffnung herstellte."

Die bedeutendste Förderung empfing die Physik der Gase durch die Versuche, welche Guericke mit Hilfe der von ihm erfundenen Luftpumpe anstellte. Die neuere, das Experiment in den Vordergrund stellende Richtung der Naturwissenschaft hatte in Deutschland vor Guericke wenig Beachtung gefunden. Ein Mann wie Kepler gelangte nicht einmal dazu, die Ergebnisse seines Nachdenkens, sofern sie das Bild auf der Netzhaut und die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs betrafen, durch den Versuch nachzuprüfen. In Guericke tritt uns dagegen ein Experimentator ersten Ranges entgegen. Als solchen haben wir ihn zu würdigen, nicht nach seiner Begabung zur Entwicklung theoretischer und philosophischer Vorstellungen. In dieser Hinsicht mag sogar das Urteil eines Leibniz, daß Guericke kein Physiker ersten Ranges sei, berechtigt sein. Andererseits übertraf Guericke durch folgerichtiges Denken die Mehrzahl seiner Zeitgenossen. Indem sie an die Stelle verschwommener Vorstellungen die scharfe Logik der neueren Naturwissenschaft setzten, haben Guericke und geistesverwandte Männer, die in den nördlichen Ländern Europas bald in größerer Zahl erstanden, der wahren, auf die Ergebnisse der exakten Forschung sich gründenden Philosophie erst die Wege geebnet. In Anbetracht dieser Bedeutung Guerickes wird es sich rechtfertigen, wenn wir zunächst bei seinem Leben verweilen, dessen Schilderung, wie die Biographien Galileis und Keplers zugleich einen Schluß auf die Zustände des 17. Jahrhunderts gestattet.

Otto von Guericke[1]) wurde am 20. November 1602 in Magdeburg als Sprößling einer Patrizierfamilie geboren[2]). Er studierte in Leipzig Rechtsgelehrsamkeit. Später befaßte er sich in Leyden mit Mathematik, Mechanik und Befestigungslehre. An seine Studienjahre schloß sich eine Reise nach Frankreich und England an. Nach dieser Vorbereitung trat Guericke in das Ratskollegium seiner Vaterstadt ein. Durch das Unglück, welches der dreißigjährige Krieg über Magdeburg brachte, wurde auch Guericke schwer betroffen. Als die Horden Tillys im Jahre 1631 plündernd und mordend in die Stadt eindrangen, vermochte Guericke kaum das nackte Leben zu retten. Durch seine Kenntnisse in den Ingenieurwissenschaften gelang es ihm, sich eine neue

1) Eine ausführliche Biographie lieferte F. W. Hoffmann unter dem Titel: O. v. Guericke, ein Lebensbild aus der Geschichte des 17. Jahrhunderts.

2) Er starb am 11. Mai 1686 in Hamburg.

Existenz zu gründen. So war er nach der Zerstörung Magdeburgs in verschiedenen Städten Deutschlands mit der Anlage von Befestigungen vertraut, eine Tätigkeit, in welcher jene Zeit die wichtigste Aufgabe der Technik erblickte. Diese Tätigkeit hatte das Gute im Gefolge, daß Guericke später dazu überging, die Mittel der Ingenieurmechanik auf die Lösung wissenschaftlicher Probleme anzuwenden. Leider ist wenig über die allmähliche Ausreifung und Durchführung seiner Experimentalarbeiten bekannt geworden. Selbst über die Zeit der Erfindung der Luftpumpe konnten genauere Daten nicht ermittelt werden[1]).

Später kehrte Guericke nach Magdeburg zurück, um sich am Wiederaufbau der Stadt zu beteiligen. Unter seiner Leitung wurden die Festungswerke und die von den Kaiserlichen zerstörte Elbbrücke wieder hergestellt. Für Guericke folgte dann zunächst eine ruhige Zeit, während er später nach seiner Ernennung zum Bürgermeister mit Geschäften überhäuft war. So finden wir ihn als Vertreter Magdeburgs auf dem Friedenskongreß zu Osnabrück, dann wieder am Hofe in Wien oder auf dem Reichstage zu Regensburg. Dort zeigte er dem Kaiser und den versammelten Ständen im Jahre 1654 seine Luftpumpe und den so berühmt gewordenen Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln.

In Anbetracht des Umstandes, daß Guerickes Versuche jahrelange Mühen und bedeutende Kosten erforderten — sein Sohn hat sie auf 20000 Taler beziffert — hat die Annahme etwas für sich, daß diese Versuche in das Jahrzehnt von 1635—1645 fallen.

Die erste Veröffentlichung über die Luftpumpe und die von Guericke angestellten Versuche rührt von dem Würzburger Professor Kaspar Schott her. Letzterer befaßte sich im Auftrage seines Landesherrn, welcher den Vorführungen auf dem Regensburger Reichstage beigewohnt hatte, mit der Wiederholung jener Versuche, ohne sich jedoch von der durch Guericke mit Nachdruck bekämpften Lehre vom Horror vacui freimachen zu können.

Kaspar Schott wurde 1608 in der Nähe von Würzburg geboren und starb dort 1666 als Professor der Physik und Mathematik. Er gehörte der alten, damals in Deutschland herrschenden Schule von Physikern an, die noch in einem Wust philologischer und philosophischer Gelehrsamkeit steckten und außerstande waren,

[1]) Siehe die betreffenden Abhandlungen G. Bertholds in den Annalen der Physik und Chemie XX. 1883, sowie in den Verhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Stockholm 1895. Nr. 1.

den von Galilei eingeschlagenen Weg der induktiven Naturforschung zu beschreiten. Dazu kam bei Schott und seinen Geistesverwandten eine große Abhängigkeit von religiösen Dogmen. In jeder neuen Entdeckung witterten sie Gefahr für die herrschende Philosophie und die Kirche. Auch Schott eifert gegen die Vertreter der neueren Naturwissenschaft, die er spöttisch als „neotericos philosophastros“ [1]) bezeichnet und denen er vorwirft, sie wollten aus dem sogenannten leeren Raum vieles schließen, was vom Standpunkte der Philosophie töricht und in bezug auf den orthodoxen Glauben gefährlich sei. Trotzdem hat sich Schott ein gewisses Verdienst um die Belebung der naturwissenschaftlichen Forschung in Deutschland erworben, weil er ähnlich wie Mersenne in Frankreich mit zahlreichen Forschern in schriftlichem Verkehr stand und dadurch zur raschen Verbreitung neuer Beobachtungen und Entdeckungen beitrug, Probleme aufwarf und Streitfragen in Fluß hielt. So war er auch der erste, durch den die Gelehrten von Guerickes Erfindungen und Entdeckungen ausführlichere Kenntnis erhielten. Dies geschah durch Schotts Mechanik der Flüssigkeiten und der Gase (Mechanica hydraulico-pneumatica) vom Jahre 1657. Schott wurde zu seiner Veröffentlichung über die Magdeburgischen Versuche durch den Kurfürsten Johann Philipp von Mainz, der zugleich Bischof von Würzburg war und Guerickes Versuche 1654 in Regensburg gesehen hatte, veranlaßt. Welches Staunen die neuen, heute als etwas Alltägliches erscheinenden Vorgänge bei den Zeitgenossen verursachten, geht aus Schotts Vorrede zu seinen einige Jahre später erschienenen „Technischen Merkwürdigkeiten“ (Technica curiosa 1664) hervor. Schott sagt dort über die Magdeburger Wunderdinge: „Ich trage kein Bedenken zu bekennen, daß ich auf diesem Gebiete nichts Bewunderungswürdigeres gesehen habe. Auch meine ich, daß die Sonne niemals Ähnliches, geschweige denn Wunderbareres seit der Erschaffung der Welt beschienen hat.“

Ursprünglich hatte Guericke nicht die Absicht, über seine Erfindungen und Entdeckungen zu schreiben, doch zwang ihm der Widerspruch, den er fand, endlich die Feder in die Hand. So entstand das im Jahre 1663 vollendete, indes erst 1672 erschienene umfangreiche Werk „Über den leeren Raum“ [2]). Der weitaus

---

1) Mechanica hydraulico-pneumatica, S. 307.

2) Ottonis de Guericke, Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio. Amsterdam 1672.

wichtigste Teil desselben ist das dritte „Über eigene Versuche“ betitelte Buch. Dieses ist eine der wichtigsten und lehrreichsten älteren Monographien über einen physikalischen Gegenstand[1]).

Infolge philosophischer Streitereien über den leeren Raum war in Guericke der Wunsch entstanden, die Frage, ob ein Vakuum möglich sei, durch Versuche zu beantworten. Denn die Gewandtheit im Disputieren gelte nichts auf dem Gebiete der Naturwissenschaften[2]). Wir erfahren aus der von ihm gegebenen Darstellung zunächst von seinen Bemühungen, ein Faß zu evakuieren[3]). Das Faß wurde mit Wasser gefüllt und wohl verpicht, so daß die Luft nicht einzudringen vermochte. Am unteren Teile des Fasses wurde eine Messingspritze als Pumpe angebracht, mit deren Hilfe man das Wasser herausziehen konnte. Letzteres, schloß Guericke, müsse vermöge seiner Schwere herabsinken und über sich im Fasse einen leeren Raum zurücklassen. An der Spritze hatte Guericke zwei Ventile angebracht, von welchen das eine den Eintritt des Wassers, das andere den Abfluß vermittelte.

Die Bemühungen, das so hergerichtete Faß luftleer zu machen, scheiterten jedoch an der Porosität des Holzes. Selbst als er das Faß, um das Eindringen der Luft zu verhindern, in einen größeren, mit Wasser gefüllten Behälter einschloß, mißlang der Versuch. Das Wasser wurde zwar aus dem kleineren Faß herausgezogen, trotzdem fand man letzteres nach einiger Zeit zum Erstaunen aller zum Teil mit Wasser, zum Teil mit Luft gefüllt. Diese Stoffe waren durch die Poren des Holzes eingedrungen.

Nachdem die Porosität des Holzes als die Ursache des Mißerfolges erkannt war, wählte Guericke für sein Vorhaben eine kupferne Kugel. Er verband sie mit einer Spritze, wie sie bei den vorhergehenden Versuchen benutzt wurde. Anfangs ließ sich der Stempel leicht bewegen; bald wurde dies aber immer schwieriger. Als nun Guericke glaubte, es sei nahezu alle Luft herausgeschafft, wurde die Metallkugel plötzlich mit lautem Knall und zu aller Schrecken zerknittert. Guericke schrieb diesen Vorfall

[1]) Aus dem Lateinischen übersetzt und mit Anmerkungen herausgegeben von Friedrich Dannemann. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1894 (59. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften).

Einige wichtige Kapitel des „Über eigene Versuche“ betitelten Buches bilden mit den erforderlichen Erläuterungen den 17. Abschnitt des Werkes Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher. Leipzig, W. Engelmann 1908.

[2]) Auf der ersten Seite der Vorrede seines Werkes de Vacuo Spatio.

[3]) Ostwalds Klassiker Nr. 59 S. 11.

dem Umstande zu, daß sich an der Kugel wahrscheinlich eine flache Stelle befand, welche den Druck der umgebenden Luft nicht auszuhalten vermochte. Als der Metallarbeiter eine vollkommen runde Kugel hergestellt hatte, gelang der Versuch. Als Beweis aber, daß die Kugel vollständig evakuiert war, diente der Umstand, daß ein Entweichen herausgezogener Luft aus dem nach außen führenden Ventil der Spritze endlich nicht mehr stattfand.

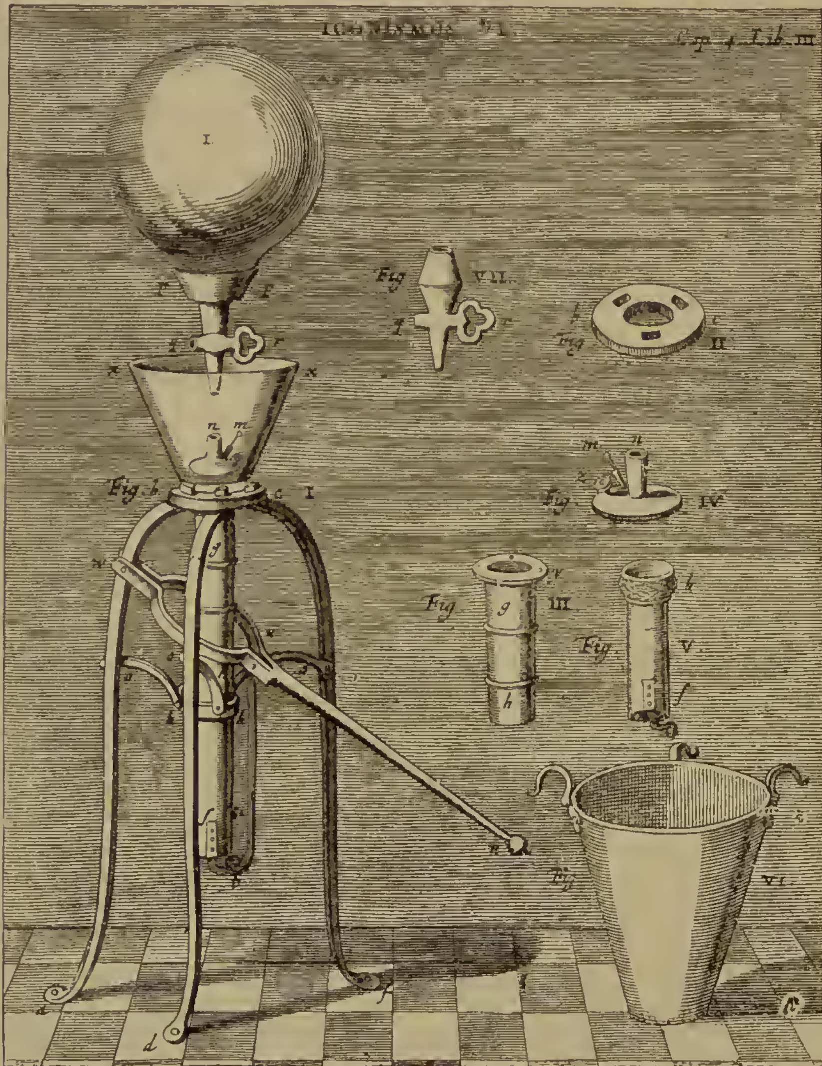


Abb. 60. Guerickes Luftpumpe.
(Wiedergabe der 6. Tafel der „Magdeburgischen Versuche".)

Nach dem Öffnen des Hahnes drang die Luft mit großer Gewalt in die kupferne Kugel. Brachte man das Gesicht heran, so wurde einem der Atem benommen, ja man konnte die Hand

nicht über den Hahn halten, ohne daß sie mit Heftigkeit herangezogen wurde.

Nach diesem so glänzend gelungenen Versuch baute Guericke eine Luftpumpe, die folgende Einrichtung aufwies (siehe Abb. 60)[1]). Ein Dreifuß wurde mit Schrauben am Boden befestigt. Zwischen seinen Füßen wurde in passender Höhe der Stiefel der Pumpe angebracht, deren Kolben durch den Hebel wu bewegt wurde. Der obere, deckelförmige Teil der Luftpumpe ist in Fig. IV abgebildet. Er trägt eine Röhre n, in welche der Hahn des Rezipienten gesteckt wird. Unter dieser Röhre befindet sich ein Lederventil, das sich bei der Abwärtsbewegung des Kolbens öffnet und die Luft aus dem Rezipienten in den Stiefel treten läßt. Durch das äußere Ventil z (Fig. IV) entweicht die Luft beim Aufwärtsbewegen des Kolbens. Das trichterförmige Gefäß x x wird nach der Verbindung und dem Abdichten aller Teile mit Wasser gefüllt, um das Wiedereindringen von Luft nach Möglichkeit zu verhindern. Aus demselben Grunde wird das untere Ende des Stiefels in einen Wasserbehälter (Fig. VI) getaucht.

Guericke erkannte bald, daß die Luft nicht etwa infolge ihrer Schwere aus dem Rezipienten in den Kolben gelangt, wie er anfänglich voraussetzte, sondern infolge ihrer Expansivkraft. Da letztere gegen das Ende der Evakuierung indessen nicht mehr groß genug war, um das unter der Röhre n befindliche Ventil zu bewegen, brachte er noch ein Röhrchen m mit einem kleinen Stempel an, welcher die Bewegung des Ventils unabhängig von der Elastizität der Luft ermöglichte.

Als Guericke eines Tages in den entleerten Rezipienten mittelst einer Röhre Wasser aus einem Kübel steigen ließ, der am Boden des Zimmers stand, kam er auf den Gedanken, zu untersuchen, wie weit bei diesem Versuch wohl der Rezipient von dem Kübel entfernt sein könne. Er ließ daher die Röhre verlängern, so daß sie, aus dem mittleren Stockwerk seines Hauses durch das Fenster geführt, den Boden des Hofes berührte. Nachdem dann ein Gefäß mit Wasser darunter gesetzt war, öffnete er den Rezipienten. Das Wasser stieg darauf seiner Schwere entgegen nichtsdestoweniger in das entleerte Gefäß empor. Bei einer

[1]) Eine der von Guericke gebauten Luftpumpen befindet sich im physikalischen Institut zu Berlin. Die Zeit der Erfindung der Luftpumpe wird auf 1647—49 oder 1651—52 angesetzt. Siehe F. Poske, Zum Gedächtnis Otto von Guerickes. Verhandl. d. Deutschen phys.kal. Gesellschaft IV (1902) Nr. 16.

Wiederholung des Versuches unter Anwendung einer längeren Röhre stieg das Wasser sogar bis in das dritte Stockwerk. Erst nachdem Guericke sich mit seinem Rezipienten in den vierten

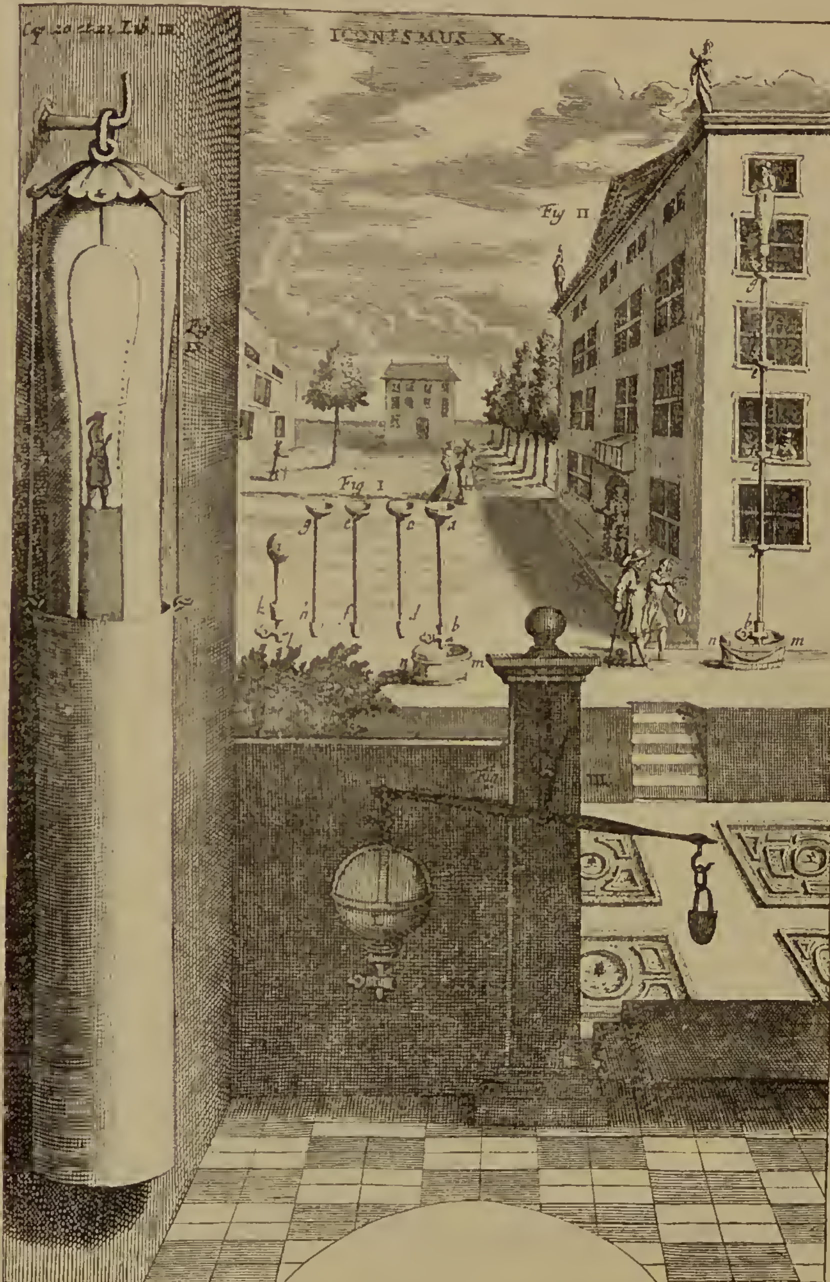


Abb. 61. Guerickes Wasserbarometer.
(Wiedergabe der 10. Tafel der „Magdeburgischen Versuche“.)

Stock seines Hauses begeben hatte, nahm er wahr, daß kein Wasser mehr in das Gefäß gelangte, sondern daß es in der Röhre in der Schwebe blieb.

Abb. 61, welche eine Wiedergabe der X. Tafel des Guerickeschen Werkes ist, enthält auf der rechten Seite das Wasserbarometer. mm ist der Kübel, i der Rezipient, bg die aus vier Stücken zusammengesetzte Röhre. Jedes Stück besaß am oberen Ende eine napfförmige Erweiterung, in welche nach dem Zusammenfügen zum besseren Abdichten Wasser gegossen wurde. Die Rohrstücke bestanden aus Messing, so daß sich die Steighöhe nicht genau ermitteln ließ. Es war daher nötig, an der Stelle, wo sich das in der Schwebe befindliche Wasser vermuten ließ, eine Glasröhre vermittelst Kitt gut schließend einzuschalten und den Versuch von neuem anzustellen. Als jetzt der Hahn des Rezipienten geöffnet wurde, sah Guericke das Wasser eindringen, einige Male in der Glasröhre auf- und niederschwanken, endlich aber zur Ruhe kommen. Jetzt ließ sich die Stelle, bis zu welcher das Wasser stieg, genau feststellen. Er merkte diese Stelle an und ließ von hier ein Lot bis zum Boden des Hofes hinab. Die Länge des Lotes fand er gleich etwa 19 Magdeburger Ellen.

Fortgesetzte Beobachtungen an diesem Apparat ließen Guericke alsbald Schwankungen in der Höhe der Wassersäule entdecken. Das Wasser stand nämlich mitunter um mehrere Handbreit höher und dann wieder um soviel tiefer. Um die Schwankungen besser verfolgen zu können, hatte Guericke eine aus Holz geschnitzte Figur in der Röhre angebracht, die mit dem Wasser auf- und niederstieg und dabei auf eine an der Röhre angebrachte Skala wies (Fig. 10, IV). Aus diesen Schwankungen, von denen Pascal nachwies, daß sie in viel beträchtlicherem Maße beim Durchschreiten verschiedener Niveaus der Atmosphäre eintreten, schlossen beide Forscher, daß nicht der Horror vacui, sondern eine äußere Ursache, der Luftdruck nämlich, das Steigen der Flüssigkeiten hervorruft. „Wenn das Emporsteigen infolge des Abscheus vor dem leeren Raum geschähe,“ meint Guericke, „so müßte das Wasser entweder bis zu einer beliebigen Höhe unbegrenzt dem Vakuum folgen oder immer in ein- und derselben Höhe stehen bleiben. Daß aber die Höhe sich ändert, ist das sicherste Anzeichen dafür, daß nicht nur das Emporsteigen des Wassers, sondern auch seine Schwankungen von einer äußeren Ursache herrühren. Die Höhe des Wassers in der Röhre hängt also nicht von dem Abscheu der Natur vor dem leeren Raume, sondern von dem Gleichgewicht zwischen dem Druck der Wassersäule und dem Luftdruck ab.“

Ferner entging es Guericke nicht, daß zwischen den von ihm entdeckten Schwankungen der Wassersäule und den Witterungserscheinungen ein gewisser Zusammenhang besteht. Über eine Wettervorhersage berichtet er mit folgenden Worten: „Ich habe mit Bestimmtheit, als im vergangenen Jahre jener ungeheure Sturm stattfand, eine besondere, außerordentliche Veränderung der Luft wahrgenommen. Sie war so leicht im Vergleich zu sonst geworden, daß der Finger des Männchens bis unter den äußersten, an der Glasröhre angebrachten Punkt herabstieg. Als ich dies sah, teilte ich den Umstehenden mit, es sei ohne Zweifel irgendwo ein großes Unwetter ausgebrochen. Und kaum waren zwei Stunden verflossen, als ein Orkan in unsere Gegend einbrach."

Das Nächstliegende war, daß Guericke eine abgeschlossene Luftmenge wog, indem er den Gewichtsunterschied zwischen dem mit Luft gefüllten und dem luftleeren Rezipienten feststellte[1]. Von einem hervorragenden Beobachtungsvermögen zeugt es, daß ihm die geringen, durch die Änderungen des aërostatischen Auftriebs veranlaßten Schwankungen im Gewichte des evakuierten Rezipienten nicht entgingen. Die 3. Abbildung seiner X. Kupfertafel[2]) erläutert den betreffenden Versuch. Der leergepumpte Rezipient L wurde mit einem an Rauminhalt viel kleineren Metallkörper ins Gleichgewicht gebracht. Als Guericke diese Vorrichtung längere Zeit beobachtete, fand er, daß der Rezipient bald höher, bald tiefer stand. Er bemerkt hierzu ganz richtig, daß beim Eintauchen des ganzen Apparates in Wasser der Rezipient in diesem dichteren Medium viel leichter erscheinen und erheblich in die Höhe gehen müsse. Sein Apparat lieferte also den Nachweis, daß dieses unter dem Namen des Auftriebs bekannte und schon von Archimedes erforschte Verhalten auch für gasförmige Medien gilt.

Auf Grund der von ihm gefundenen Tatsache, daß die Luft denselben Druck ausübt wie eine 19 Magdeburger Ellen (10 m) hohe Wassersäule, zeigt Guericke[3]), wie man den Druck eines beliebigen Luftzylinders berechnen kann. Für den Fall, daß der Durchmesser des Zylinders $^2/_3$ Ellen beträgt, findet er dafür einen Druck von 2687 Pfund. Um diesen außerordentlichen Druck recht augenfällig zu zeigen, verfuhr er folgendermaßen: Er ließ zwei Halbkugeln aus Kupfer von etwa $^2/_3$ Magdeburger Ellen Durchmesser

[1]) Magdeburgische Versuche Kapitel XXII. Siehe 59. Bd. von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften S. 66.

[2]) Siehe S. 172.

[3]) Siehe Ostwalds Klassiker Nr. 59 S. 66.

so herrichten, daß sie gut aufeinander paßten. Die eine Halbkugel wurde mit einem Ventil versehen, mit dessen Hilfe die im Innern befindliche Luft herausgezogen werden konnte. Die Schalen besaßen ferner eiserne Ringe, um Pferde daran anzuspannen. Ferner ließ Guericke einen Ring aus Leder herstellen, der gut mit Wachs und Öl durchtränkt war, so daß er keine Luft durchließ.

Die Schalen wurden, nachdem jener Ring dazwischen gebracht war, aufeinander gelegt und darauf die Luft schnell herausgepumpt. Die beiden Schalen wurden dann von dem Drucke der äußeren Luft so fest zusammengepreßt, daß sechzehn Pferde sie nur mit Mühe voneinander reißen konnten. Gab man jedoch durch Öffnen des Hahnes der Luft wieder Zutritt, so konnten die Halbkugeln schon mit den Händen voneinander gerissen werden.

Fast alle Luftpumpenversuche, die im heutigen Physikunterrichte gezeigt werden, rühren von Guericke her. So wies er nach, daß der Schall sich im Vakuum nicht fortpflanzt, während das Licht ungehindert hindurchgeht. Tiere starben in seinem entleerten Rezipienten nach kurzer Zeit. Fische mit allseitig geschlossener Schwimmblase schwollen darin infolge der Expansion der Luft zunächst stark an, während bei solchen Fischen, deren Schwimmblase einen Ausführungsgang nach dem Schlunde besitzt, die eingeschlossene Luft infolge der gleichen Ursache zum Teil entwich. Guericke zeigte ferner, daß das Feuer und das Leben im Vakuum erlöschen. Er machte auch die Beobachtung, daß bei der Verbrennung Luft verzehrt wird. Eine Kerze, die in einem geschlossenen Rezipienten brannte, erlosch nämlich, sobald ein Teil der Luft verbraucht war[1]). Bei der Erörterung dieses Versuches zeigt Guericke, wie klar er urteilt. Zunächst wirft er die Frage auf, warum das Erlöschen eintritt, bevor die ganze Luftmenge aufgezehrt ist. Als Grund dafür gibt er an, daß die Luft durch die Produkte der Verbrennung verunreinigt werde. Die weitere Frage, ob das Feuer die Luft derartig verzehrt, daß es letztere vernichtet, oder ob es die Luft in einen anderen Stoff verwandelt, entscheidet Guericke in letzterem Sinne. Doch sei der Stoff so fein, daß man ihn nicht wahrnehmen könne.

Über die Ursache des Luftdrucks äußert sich Guericke mit folgenden Worten: „Einige verlegen die Ursache in die von allen Seiten kommenden Strahlen der Sterne. Wäre dies der Fall, so müßte indessen auch die Erdkugel diesen Druck empfangen

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 59 S. 45.

und ihm Widerstand leisten. Wenn aber zwei Körper einander drücken, so wird ein zwischen ihnen befindlicher Gegenstand von beiden Seiten denselben Druck erleiden. Daraus würde notwendig folgen, daß die oberen Teile der Luft in gleichem Maße gedrückt würden wie die unteren, was aber durch die Versuche widerlegt wird.

Da die untere Luft stärker zusammengedrückt ist als die obere, und man dies nicht erst auf hohen Bergen, sondern schon auf den Türmen der Kirchen wahrnimmt[1]), so folgt daraus, daß die Luft sich nicht weit von der Oberfläche der Erde erstreckt, sondern daß ihre Höhe verglichen mit der großen Entfernung der Sterne nur gering sein kann.“

Um die Fortpflanzung des Schalles im Vakuum zu prüfen, hatte Berti in Rom im Jahre 1647 einen Apparat ersonnen, der große Ähnlichkeit mit Guerickes Wasserbarometer besaß. Berti errichtete an seinem Hause eine Röhre von 100 Fuß Länge. An ihrem oberen Ende verband er sie luftdicht mit einem Gefäß, in dem sich ein Schlagwerk befand. Der ganze Apparat wurde durch eine obere Öffnung mit Wasser gefüllt. Diese Öffnung wurde dann luftdicht geschlossen, worauf das untere Ende der Röhre, das in Wasser tauchte, geöffnet wurde. Das Wasser sank und in dem Gefäß entstand ein leerer Raum. Trotzdem gab das Schlagwerk, das vermittelst eines Magneten in Bewegung gesetzt wurde, einen Ton. Hieraus leiteten Berti und Schott, der über den geschilderten Versuch berichtete, einen Einwurf gegen die Möglichkeit des Vakuums her. Guericke und nach ihm Boyle zeigten jedoch, daß, bei Vermeidung aller Fehler, Gefäße derart evakuiert werden können, daß der Schall sich in ihnen nicht oder kaum noch fortpflanzt[2]). So hing Guericke das Schlagwerk an einem Faden auf, um die Fortpflanzung des Schalles durch die feste Materie des Rezipienten nach Möglichkeit zu verhindern.

Mit dem von Torricelli erfundenen Verfahren, ein Vakuum über Quecksilber herzustellen, wurde Guericke erst 1654 auf

---

1) Pascal hatte dies aus der Verkürzung der Quecksilbersäule des Barometers gefolgert (siehe S. 162 d. Bds.). Guericke verschloß einen Recipienten am Fuße eines Kirchturms und begab sich damit auf die Spitze desselben. Wurde der Hahn jetzt gedreht, so trat Luft aus; während Luft in den Rezipienten hineindrang, wenn man ihn auf der Spitze des Turmes verschloß und am Fuße wieder öffnete. Guericke, De vacuo spatio, III. Buch 30. Kap.

2) Ostwalds Klassiker Nr. 59. Kap. XV.

dem Reichstage zu Regensburg[1]) bekannt. Auch um die Elektrizitäts-, die Wärmelehre und die Mechanik hat sich Guericke Verdienste erworben. Doch wird davon an anderer Stelle die Rede sein.

Als die Kunde von der Erfindung Guerickes nach England gelangt war, machte sich dort Boyle an die Herstellung einer Luftpumpe, die in mehrfacher Hinsicht diejenige Guerickes übertraf. Im Jahre 1660 veröffentlichte Boyle seine „Neuen Versuche“[2]), die sich zum Teil mit den „magdeburgischen“ deckten, zum Teil aber wirklich „neu“ waren. Erwähnt sei die Beobachtung, daß erwärmtes Wasser im Vakuum kocht, womit die Abhängigkeit des Siedepunktes von dem auf der Flüssigkeit lastenden Druck erwiesen war.

Boyle war auch der erste, welcher die einfache Beziehung erkannte, die zwischen dem Druck und dem Volumen eines Gases besteht. Er schloß 12 Kubikzoll Luft durch Quecksilber in dem kürzeren Schenkel einer U-förmig gebogenen Röhre ab (siehe Abb. 62). In dem Maße, in welchem Quecksilber in den längeren offenen Schenkel gegossen wurde, verringerte sich das Volumen der abgesperrten Luft. Bei einem Drucke von zwei Atmosphären nahm sie nur noch sechs Kubikzoll, bei drei Atmosphären vier Kubikzoll (ein Drittel des ursprünglichen Volumens) ein, oder, wie Boyle es aussprach, die Luft verdichtete sich im Verhältnis der zusammendrückenden Kräfte.


Abb. 62. Boyles Versuch, eine Beziehung zwischen dem Druck und dem Volumen eines Gases zu finden[4]).

Dieses Grundgesetz der Aëromechanik[3]) wurde geraume Zeit später durch den Franzosen Mariotte (1620—1684) selbständig aufgefunden und klarer ausgesprochen als von Boyle. Eine vortreffliche Darstellung seiner Entdeckung gab Mariotte in der

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 59 S. 108.

[2]) New experiments, Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air and its Effects made in the most part in a new pneumatical engine. Oxford 1660. Ein Jahr später erschien eine lateinische Übersetzung unter dem Titel: Nova experimenta de vi aeris elastica.

[3]) Mitgeteilt von Boyle in seiner Schrift gegen Linus, Defensio contra Linum London 1662. Cap. V. Opera Varia. Genf 1680. S. 42 ff.

[4]) R. Boyle, Opera varia. Genevae 1680. S. 38. Fig. 5.

„Abhandlung über die Natur der Luft“[1]. Mariotte tauchte ein Barometer in hinreichend tiefes, klares Wasser und bemerkte, daß eine Wassersäule von 14 Zoll Höhe ein Steigen des Quecksilbers um einen Zoll bewirkt. „Offenbar rührt dies“, sagt Mariotte, „daher, daß das spezifische Gewicht des Quecksilbers 14 mal größer ist als dasjenige des Wassers.“ Wenn das Quecksilber im Barometer 28 Zoll hoch stehe, so gehe daraus hervor, daß diese Quecksilbersäule gerade soviel wiege wie eine Luftsäule von gleicher Grundfläche, die sich von der Oberfläche des in dem Gefäße befindlichen Quecksilbers bis zur Grenze der Atmosphäre erstrecke.

Eine zweite Eigenschaft der Luft bestehe darin, daß sie außerordentlich verdichtet und ausgedehnt werden könne, dabei aber immerfort einen Druck ausübe, wodurch die Luft die Körper, welche sie einschließen, zurückstoße oder zurückzustoßen strebe. Während die meisten anderen Spannkräfte allmählich abnehmen, bemerke man nie, daß dies bezüglich der Spannung der Luft der Fall sei. So komme es vor, daß lange Zeit geladene Windbüchsen dasselbe leisteten, als ob sie soeben geladen wären. Daß die Luft im Verhältnis zur Steigerung des Druckes verdichtet wird, der auf ihr lastet, wies Mariotte wie Boyle vermittelst einer U-förmig gebogenen Röhre nach. Er wies auch darauf hin, daß der kürzere Schenkel dieser Röhre, wenn der Beweis gelingen soll, überall gleich weit sein müsse, während dies für den längeren Schenkel nicht erforderlich sei.

Daß das Volumen der Luft dem Drucke auch umgekehrt proportional ist, wenn wir den Druck vermindern, bewies Mariotte auf folgende Weise. Er schloß in einem Barometerrohr Quecksilber und Luft ab und machte den Torricellischen Versuch. Das Quecksilber sank dann. „Indem es fällt“, sagt Mariotte, „dehnt die im Innern der Röhre befindliche Luft sich aus. Infolgedessen ist ihre Spannung geringer. Ein Teil des Quecksilbers bleibt in der Röhre. Und zwar wird die Höhe der Quecksilbersäule von der Dichte der eingeschlossenen Luft abhängen. Das Quecksilber, das in der Röhre schweben bleibt, hebt den Rest des Luftdrucks auf, so daß sich ein Gleichgewichtszustand bildet zwischen dem Drucke der Atmosphäre einerseits und dem Drucke der Quecksilbersäule, vermehrt um die Spannung der eingeschlossenen Luft andererseits.“

---

[1]) Mariotte, Essai sur la nature de l'air. 1679. Die wichtigsten Abschnitte enthält Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher. S. 104 u. f.

Wenn die Luft im Verhältnis des Druckes, der auf ihr lastet, ihr Volumen verändert, so muß, schloß Mariotte, notwendig bei einem Versuche, bei welchem das Quecksilber in der Röhre 14 Zoll hoch steht, die eingeschlossene Luft die doppelte Ausdehnung besitzen wie vorher, vorausgesetzt, daß zur selben Zeit ein Barometer ohne Luft eine Quecksilberhöhe von 28 Zoll anzeigt.

Um zu erkennen, ob es sich so verhält, machte er folgende Probe. Er bediente sich einer Röhre von 40 Zoll Länge und füllte 27½ Zoll Quecksilber hinein, so daß sich 12½ Zoll Luft darin befanden. Nachdem die Röhre umgedreht und einen Zoll tief in das Quecksilber des Gefäßes getaucht war, fiel das Quecksilber beim Fortnehmen des Fingers und blieb nach einigen Schwankungen in einer Höhe von 14 Zoll stehen. Die eingeschlossene Luft, die jetzt 25 Zoll einnahm, hatte also ihr Volumen verdoppelt, da sich vor dem Versuche nur 12½ Zoll Luft in der Röhre befanden. War also der Druck auf die Hälfte vermindert, so hatte sich das Volumen der Luft verdoppelt.

Die Idee des Aneroidbarometers begegnet uns zuerst bei Leibniz. Er schreibt: „Ich glaube, daß man ein Barometer ohne Quecksilber nach Art eines wohl verschlossenen Blasebalgs oder nach Art einer Pumpe herstellen könnte“[1]). In einem Briefe an Johann Bernoulli finden sich folgende Ausführungen über diesen Gegenstand: „Ich habe zuweilen an ein tragbares Barometer gedacht, das in einen, einer Uhr ähnlichen, kleinen Behälter eingeschlossen werden könnte. Quecksilber soll dabei nicht zur Verwendung kommen, sondern eine Art Blasebalg, den das Gewicht der Luft zusammenzudrücken sucht, während er durch die Kraft einer elastischen Feder Widerstand leistet.“ Zu einer brauchbaren Ausführung dieses Gedankens kam es erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts[2]).

---

[1]) Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin. Herausgegeben von Gerland. Berlin 1881. S. 222.

[2]) Durch Vidi. Poggendorffs Annalen. 1848. Bd. 73. S. 620.

8. Die Iatrochemie und die Begründung der Chemie als Wissenschaft durch Boyle.

Von einem Zeitalter, das sich mit solcher Energie und solchem Erfolge der experimentellen Forschung zuwandte, wie das 17. Jahrhundert, ließ sich erwarten, daß auch die Chemie um manche wichtige Entdeckung bereichert wurde, wenn auch diese Wissenschaft erst weit später diejenige Stufe erreichte, auf die ihre ältere Schwester, die Physik, durch Galilei und seine Zeitgenossen gelangt war.

Wir verließen die Chemie an dem Punkte ihrer Entwicklung, an dem eine wesentliche Änderung ihrer ganzen Richtung eintrat. Ihr bisheriges Ziel, den Stein der Weisen und mit dessen Hilfe Gold zu bereiten, trat nämlich im Verlauf des 16. Jahrhunderts gegen dasjenige, Präparate zur Heilung von Krankheiten herzustellen, immer mehr zurück. Dieses unter dem Namen der Iatrochemie bekannte Zeitalter der Chemie erreichte seinen Höhepunkt in dem Niederländer van Helmont (1577—1644). Begründet wurde die Iatrochemie durch Paracelsus und Libavius. Paracelsus pries in übertriebenem Maße die Heilwirkung anorganischer Verbindungen, während Libavius eine vermittelnde Stellung einnahm. Alle drei standen aber, obgleich sie der Chemie neue Ziele wiesen, mit einem Fuße noch im alchemistischen Zeitalter.

Ein besonderes Verdienst van Helmonts besteht darin, daß er zum ersten Male die Verschiedenartigkeit der luftförmigen Körper hervorhob, sowie den Begriff und die Bezeichnung „Gas“ einführte. Vor ihm hatte man trotz ihrer augenfälligen Unterschiede Wasserstoff, Schwefeldioxyd, Kohlendioxyd und atmosphärische Luft für wesentlich ein und dasselbe gehalten. Am genauesten hat van Helmont das Kohlendioxyd untersucht. Er zeigte, daß dieses Gas sich aus Kalkstein, sowie aus Pottasche durch

Übergießen mit Säuren entwickeln läßt und daß es mit dem Verbrennungsprodukt der Kohle identisch ist. Auch daß sich Kohlendioxyd in Mineralwässern findet und bei der Gärung entsteht, war ihm bekannt.

Die Erkenntnis, daß es in der Chemie kein eigentliches Entstehen und Vergehen gibt, regte sich gleichfalls schon bei van Helmont. So lehrte er, daß das Kupfer, welches aus dem blauen Vitriol durch Zusatz von Eisen abgeschieden wird, nicht etwa neu entstanden sei. Auch das Silber läßt er in seinen Salzen fortbestehen. Trotz alledem beschäftigte ihn das alchemistische Problem; ja, dieses gewann infolge des Ansehens, das van Helmont genoß, wieder erhöhte Beachtung.

Um den Stein der Weisen, die Materie prima, zu gewinnen, schmolzen, kochten und mischten die Alchemisten alle Stoffe, auf die man nur verfallen kann. „Durchprobiert", sagt der hervorragendste Schilderer der alchemistischen Bestrebungen[1]), „wurde, was auf der Erde vorkommt, was sie in ihren Tiefen birgt und was auf sie herabfällt." Man untersuchte auch Pflanzensäfte und Tiersekrete wie Milch und Speichel, Fäces und Harn. Auf diese Weise wurde zwar nicht die Materie prima gefunden, aber manche wertvolle Beobachtung und Entdeckung gemacht, vor allem aber die Beschäftigung mit der Natur in den Mittelpunkt des menschlichen Interesses gerückt. War man doch bis dahin in mystischen und religiösen Vorstellungen so festgerannt, daß jede Beschäftigung mit natürlichen Vorgängen als sündhaft, mindestens aber als niedrig betrachtet wurde. Wenn es auch an den Mitteln der experimentellen Forschungsweise und den richtigen Methoden noch sehr gebrach, so wurde doch der Boden für eine höhere, eigentlich wissenschaftliche Tätigkeit auf solche Weise vorbereitet und manche wichtige, wenn auch mehr zufällige Entdeckung gemacht. So führte das von den Alchemisten geübte Kochen, Glühen und Destillieren aller möglichen Stoffe, welche die zur Darstellung des Goldes notwendige Materia prima geben sollten, im 17. Jahrhundert zur Entdeckung des Phosphors durch den Hamburger Kaufmann Brand[2]). Dieser ließ sich bei seinen Versuchen von dem Gedanken leiten, daß die im Organismus tätige Lebenskraft, die so

---

[1]) H. Kopp, Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit. Heidelberg 1886 Bd. 1. S. 8.

[2]) Leibniz. Historia inventionis phosphori. Miscellanea Berolinensia. 1710. T. I. p. 91.

Wunderbares wirke, auch imstande sein müsse, die Metalle zu verwandeln. Er unterwarf daher den beim Eindampfen von Harn erhaltenen Rückstand der trockenen Destillation. Dadurch wurden die phosphorhaltigen Verbindungen des Harns durch den in der organischen Materie enthaltenen Kohlenstoff reduziert. Das auf solche Weise[1]) im Jahre 1669 erhaltene Element Phosphor erregte wegen seiner überraschenden Eigenschaften das größte Aufsehen. Brand hielt sein Verfahren geheim. Auf Grund einiger Andeutungen, welche der gleich zu erwähnende Kunkel erfuhr, gelang diesem jedoch gleichfalls die Darstellung des Phosphors.

Von Interesse sind auch die Beziehungen des Philosophen Leibniz, der über die Erfindung des Phosphors ausführlich berichtete, zu den alchemistischen Bestrebungen seiner Zeit[2]). Leibniz war, als er in Altdorf studierte, Mitglied der Nürnberger hermetischen Gesellschaft. Die Stellung, welche er den Übertreibungen der Alchemisten gegenüber einnahm, geht aus folgenden, für das Gelehrtendeutsch jener Zeit charakteristischen Worten des großen Philosophen hervor:

„Die Laboranten, Charlatans, Marktschreier, Alchymisten und andere Vaganten und Grillenfänger sind gemeiniglich Leute von großem Ingenio, bisweilen auch Experienz, nur daß die disproportio ingenii et indicii, oder auch bisweilen die Wollust, die sie haben, sich in ihren eitelen Hoffnungen zu unterhalten, sie ruiniert und in Verderben und in Verachtung bringet. Gewißlich, es weiß bisweilen ein solcher Mensch mehr aus der Erfahrung und Natur gewonnene Realitäten, als mancher in der Welt hochangesehene Gelehrter, der seine aus den Büchern zusammen gelesene Wissenschaft mit Eloquenz, Adresse und anderen politischen Streichen zu schmücken und zu Markt zu bringen weiß, dahingegen der andere mit seiner Extravaganze sich verhaßt oder verächtlich macht. Daran sich aber verständige Regenten in einer wohlbestellten Republique nicht kehren, sondern sich solcher Menschen bedienen, ihnen gewisse regulierte Employ und Arbeit geben und dadurch sowohl ihr als ihrer Talente Verderben verhüten können.“ (Klopp, Die Werke von Leibniz Bd. I. S. 143.)

---

[1]) Ein Jahrhundert später (1776) zeigte Gahn, daß sich Phosphor aus kalzinierten Knochen darstellen läßt, indem man den beim Eindampfen der Knochen mit Schwefelsäure enthaltenen Rückstand mit Kohle destilliert.

[2]) H. Peters, Leibniz in seiner Beziehung zur Chemie und den anderen Naturwissenschaften. Chemikerzeitung 1901. Nr. 81 u. 82.

Auch König Friedrich I. von Preußen hatte seinen Goldmacher, den Grafen Cajetan, einen Italiener, der ihm versprach, in wenigen Wochen für sechs Millionen Taler Gold zu machen. Als sich die Hoffnung des Königs nicht erfüllte, ließ er den „Grafen" aufknüpfen. Vorher hatte dieser dem Kurfürsten von Bayern und dem Kaiser große Summen durch ähnliche Versprechungen abzuschwindeln verstanden.

Im 17. Jahrhundert begegnet uns auch die Umkehrung der bisherigen Aufgabe der Alchemie. Anstatt Gold zu schaffen, wollte man gegebenes Gold zerstören oder, wie man sich ausdrückte, „aus seinem Wesen setzen". Es erschien eine Schrift unter dem Titel „Sol sine veste oder dreißig Experimente, dem Gold seinen Purpur auszuziehen"[1]. Als eine solche Zerstörung des Goldes wurde z. B. die eigentümliche feinste Verteilung des Goldes im Glasfluß aufgefaßt. Selbst Kunkel glaubte, das Gold, welches die Farbe des Rubinglases bewirkt, sei aus seinem Wesen gesetzt, d. h. nicht mehr als Gold vorhanden.

Bei den Stoffverwandlungen, an die man im Zeitalter van Helmonts und Kunkels glaubte, spielt auch die Lehre, daß das Wasser der Hauptbestandteil aller Stoffe sei, eine Rolle. Diese Ansicht war bei van Helmont jedoch kein bloßes Philosophem wie bei Thales und seinen Anhängern; sie stützte sich vielmehr auf, wenn auch irrtümlich gedeutete, Beobachtungen und Versuche. Van Helmont hatte z. B. 200 Pfund Erde in einem irdenen Gefäße abgewogen und in dieses eine 5 Pfund schwere Weide gepflanzt. Letztere wurde nur mit Regenwasser begossen. Nach Verlauf von 5 Jahren wog die Weide 170 Pfund, während das Gewicht der Erde nur um wenige Unzen abgenommen hatte. Die Gewichtszunahme der Weide schrieb van Helmont, da er die Rolle des atmosphärischen Kohlenstoffs noch nicht ahnte, lediglich dem Wasser zu.

Im Zeitalter der Iatrochemie sind sehr wahrscheinlich auch die Schriften entstanden, die früher Basilius Valentinus (er sollte um 1450 gelebt haben) zugeschrieben wurden. Zu Beginn des 17. Jahrhunderts gab nämlich Thölde, Ratskämmerer zu Frankenhausen, eine Anzahl alchemistischer Schriften heraus. Die Titel der wichtigeren lauten: „Triumphwagen Antimonii" und „Vom großen Stein der uralten Weisen". Diese Schriften gaben den alchemistischen Bestrebungen, die ihren Höhepunkt

[1] J. C. Orchall, Augsburg 1684.

damals schon überschritten hatten, wieder Anregung. Nach neueren Untersuchungen beruhen sie indessen auf einer literarischen Fälschung ganz eigener Art. Sind auch die Einzelumstände dieser Fälschung noch nicht genügend aufgeklärt, so ist doch so viel gewiß, daß die unter dem Namen des Basilius Valentinus gehenden Schriften nicht von einem im 15. Jahrhundert lebenden Mönche dieses Namens herrühren, sondern erst gegen das Ende des 16. oder zu Beginn des 17. Jahrhunderts verfaßt wurden.

Die Aufnahme zahlreicher anorganischer Verbindungen unter die Heilmittel rief anfangs manchen und gewiß sehr oft berechtigten Widerstand hervor. In Heidelberg z. B. ließ die medizinische Fakultät noch bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts diejenigen, denen sie die Doktorwürde verlieh, schwören, daß sie niemals von Antimon- und Quecksilberpräparaten in ihrer ärztlichen Praxis Gebrauch machen wollten. Ein ähnliches Verbot bestand auch in Paris.

Zwischen den Paracelsisten und den Anhängern der älteren Heilkunde suchte besonders Libavius zu vermitteln. Andreas Libavius wurde in Halle geboren. Er studierte Medizin, Geschichte und Sprachwissenschaften und starb im Jahre 1616 als Direktor des Gymnasiums zu Coburg. Libavius war der namhafteste deutsche Chemiker seiner Zeit. Wir verdanken ihm das erste Lehrbuch der Chemie, seine 1595 erschienene Alchymia, mit dem wir uns etwas näher befassen wollen. Wie schon der Titel sagt und wie die ersten Sätze des Buches lehren, war Libavius ein erklärter Anhänger der Alchemie. Sie ist für ihn die Kunst der Magisterien, d. h. die Stoffe, welche zur Metallverwandlung dienen, zu erzeugen und die reinen Grundbestandteile aus ihren Mischungen abzuscheiden [1]). Als Grundbestandteile oder Prinzipien unterscheidet auch er Mercurius, sal und sulphur. Der Abschnitt, welcher vom Stein der Weisen handelt, enthält eine mystische Abbildung, die als für die alchemistischen Werke charakteristisch betrachtet werden kann. Der zweite Teil der Alchymia des Libavius ist das eigentliche Lehrbuch der Chemie, da sich darin im wesentlichen eine Darstellung der jener Zeit bekannten chemischen Tatsachen und die Grundzüge einer Dokimasie (Probierkunst) finden. Die Überschriften der einzelnen Abschnitte lauten:

---

[1]) Alchemia est ars perficiendi magisteria et essentias puras e mistis separato corpore extrahendi.

Von der Natur der Metalle.
Vom Golde.
Vom Silber.
Von den unvollkommenen Metallen.
Vom Eisen.
Von den Stoffen, welche mit den Metallen verwandt sind.

Als solche werden aufgezählt: Quecksilber, Wismut, Antimon, Schwefel und Arsen.

Libavius untersuchte die schon vor ihm bekannten Bleisalze, Bleizucker und Bleiessig genauer und brachte sie als Heilmittel in Vorschlag. Er vereinfachte die Darstellung der Schwefelsäure und wies nach, daß die aus Alaun, Vitriol oder Schwefel erzeugte Säure ein und dieselbe Substanz ist.

Wie der gleichzeitig lebende Agricola bemühte sich auch Libavius, Mittel und Wege anzugeben, um in den Erzen und den metallischen Präparaten den Metallgehalt nachzuweisen. Beide begründeten die, durch hüttenmännische Erfahrungen allerdings seit alters vorbereitete, metallurgische Probierkunst (Dokimasie). So legt sich Libavius die Frage vor, wieviel Gold anderen Metallen, wie dem Silber, dem Blei oder dem Quecksilber beigemengt sei, wie man den Silbergehalt der Bleiglätte ermitteln könne usw. Von besonderem Werte ist das Buch des Libavius noch dadurch, daß es eine genaue Beschreibung der gegen den Ausgang des 16. Jahrhunderts üblichen chemischen Apparate und Vorrichtungen enthält. Neben der Wärme suchte man z. B. auch das Licht als chemisches Agens zu verwerten, wovon uns die Abbildungen des Libavius eine Vorstellung geben.

Eine große Förderung erfuhr die Chemie in Deutschland durch das Emporblühen der Gewerbe. Dies war besonders während der so glücklichen Entwicklung dieses Landes der Fall, welche dem dreißigjährigen Kriege vorherging. Als der wichtigste Vertreter der infolgedessen als besonderer Wissenszweig aufkommenden angewandten Chemie begegnet uns Glauber. Johann Rudolf Glauber (1604—1668) bereicherte die anorganische Chemie um eine Reihe von Entdeckungen, die zumeist die Chlorverbindungen betreffen. Auf dieses Gebiet wurde Glauber dadurch geführt, daß er die Darstellung der Salzsäure durch Einwirkung von Schwefelsäure auf Kochsalz kennen lernte. Ganz entsprechend stellte er auch die Salpetersäure aus Salpeter und Schwefelsäure her. Das dabei auftretende Natriumsalz der Schwefelsäure ist

nach ihm Glaubersalz genannt worden[1]). Das Chlor scheint Glauber gleichfalls schon gekannt zu haben. Vor Glauber hatte man die Chloride aus den Metallen hergestellt, indem man letztere mit Sublimat (Quecksilberchlorid) erhitzte. Infolgedessen war man zu der irrtümlichen Annahme gelangt, daß in den Chlorverbindungen der Metalle Quecksilber enthalten sei. Glauber lehrte dagegen, sie seien Verbindungen der Metalle mit Salzsäure. Er traf damit zwar auch noch nicht das Richtige, da es sich nur um den einen Bestandteil der Salzsäure, das Chlor, handelt, dessen Reindarstellung erst Scheele gelang. Die Chloride, welche Glauber untersucht und beschrieben und zum Teil als erster dargestellt hat, sind Zinn- und Zinkchlorid, Eisenchlorid, Chlorblei, Arsen- und Kupferchlorür. Auch das Chlorsilber und seine Entstehung aus Silberlösung durch Zusatz von Salzsäure wurde damals bekannt. Ferner gelang Glauber die Darstellung des als vulkanisches Produkt schon lange bekannten Salmiaks durch die Einwirkung der Salzsäure auf das unter dem Namen „flüchtiges Laugensalz“ bekannte kohlensaure Ammoniak. Letzteres hatten die Alchemisten früherer Jahrhunderte durch Destillation von gefaultem Harn gewonnen.

Man kann sich denken, welche Umwälzung aber auch welchen Mißbrauch all diese Präparate, die in der übertriebensten Weise und mit der größten Geheimnistuerei angepriesen wurden, auf dem Gebiete der Heilkunde hervorriefen. Insbesondere war man bemüht, neue Arsen-, Antimon- und Quecksilberpräparate herzustellen und für Heilzwecke zu benutzen. So lernte man antimonsaures Kalium, die Weinsäure und weinsaure Salze kennen. Die Einwirkung von Antimonoxyd auf Weinstein lieferte den Brechweinstein, der gleichfalls für den Arzneischatz sofort die größte Bedeutung erlangte. Die Darstellung des Brechweinsteins ist gleichfalls auf Glauber zurückzuführen. Es ist begreiflich, daß dieses zunächst reine Nützlichkeitsstreben dazu führte, daß das Interesse an den beobachteten Vorgängen und Verbindungen immer mehr überwog und das Ziel der Chemie schließlich verschoben wurde. Aus einem bloßen Zweige der Heilkunde erwuchs auf diese Weise ganz ähnlich wie es der Zoologie und der Botanik ergangen war, die reine Wissenschaft, die ihren Gegenstand, losgelöst von allen Nützlichkeitsbestrebungen, um seiner selbst willen zu erforschen bemüht ist.

[1]) Es wurde auch als Wundersalz (Sal mirabile) bezeichnet und fand in der Heilkunde bald ausgedehnte Anwendung.

Ein wissenschaftliches Ergebnis der experimentellen Arbeiten Glaubers war z. B. das klare Hervortreten des Begriffes der chemischen Verwandtschaft. So braucht Glauber, wenn er von der Befreiung des Ammoniaks aus Salmiak durch die Einwirkung von Kalk handelt [1]), den Ausdruck, der eine Bestandteil des Salmiaks „liebe den Kalk mehr als der andere und werde auch von dem Kalke mehr geliebt“. Auch die doppelte Verwandtschaft ist ein Begriff, der in seinen Anfängen auf Glauber zurückgeht. So führte er aus, daß aus Quecksilberchlorid und Schwefelantimon durch wechselseitigen Austausch der Bestandteile Schwefelquecksilber und Antimonchlorid hervorgehen. Um eine Probe der zur Zeit Glaubers herrschenden Ausdrucksweise zu geben, sei hier diese Umsetzung in Glaubers Sprache unter Hinzufügung der heutigen Formeln beschrieben: „Wenn der Mercurius sublimatus ($HgCl_2$) mit Antimonio (Sb_2S_3) vermischt die Hitze empfindet, so greifen die Spiritus (Cl), welche bei dem Mercurio sublimato sein, den Antimonium (Sb_2S_3) lieber an und lassen den Mercurium (Hg) wieder fallen, und steigt also ein dick Oleum ($SbCl_3$) über. Der Sulphur antimonii (S) aber konjugiert sich mit dem Mercurio vivo (Hg) und gibt einen Zinnober (HgS), welcher im Halse der Retorte bleibt.

Die ursprüngliche Vorstellung, daß ähnliche Stoffe mit einander verwandt seien, wich der richtigen Erkenntnis, daß gerade die verschiedenartigsten Stoffe das größte Vereinigungsbetreben haben. Am deutlichsten sprach es Hermann Boerhave (1668—1738) aus, daß gerade nicht verwandte Stoffe die Kraft besitzen, die man als chemische Verwandtschaft oder Affinität bezeichnet, ein Wort, daß uns schon bei Albertus Magnus begegnet.

Als überzeugter Anhänger der Alchemie kann Glauber nicht mehr gelten. Er sagt von ihr: „Wer Zeit und Gelegenheit haben mag, solche Arbeiten im großen anzustellen, dem ist es nicht gewehrt, zu versuchen, ob Nutzen damit zu erlangen ist“. Auch bekennt er, daß er selbst nicht den geringsten Erfolg „in Verbesserung der Metalle“ gehabt habe. Glaubers Hauptwerk führt den Titel „Novi furni philosophici“. In einem zweiten, „Teutschlands Wohlfahrt“ betitelten Werke suchte Glauber die Bedeutung der Chemie für die Volkswirtschaft darzutun. „Dieses Werk“, sagt er in seiner Einleitung, „mit dem ich meinem Vaterlande zu dienen mir vorgenommen, besteht in Offenbarung der in Deutsch-

[1]) $2\,NH_4Cl + CaO = CaCl_2 + 2\,NH_3 + H_2O$.

land verborgenen großen Schätze, die zwar bisher auch sind genossen worden, aber nicht, wie es wohl hätte sein sollen und können. Z. B. läßt sich das Holz, so doch liegt und verdirbt, zu Salpeter machen, den künftigen Feinden damit die Spitze zu bieten. In künftigen großen Landsterben werden sich ferner durch Konzentrieren der Mineralien und Metalle gute Medikamente bereiten lassen.“

Sehr gefördert wurde die Chemie während des 17. Jahrhunderts durch den Engländer Boyle. Robert Boyle wurde im Jahre 1626 geboren. Er studierte in Oxford und in Genf und lebte von 1668 an in London, wo er mit Newton, Hooke und anderen hervorragenden Gelehrten die Royal Society gründete. Der gemeinsame Grundzug dieser Männer war der, daß sie sich lediglich von dem Streben nach Naturerkenntnis und von keinerlei Nebenabsichten bei ihrem, im Geiste echter Forschung ausgeführten Arbeiten leiten ließen. Boyle war der erste, welcher die wahre Aufgabe der Chemie in der Erkenntnis der Zusammensetzung der Körper erblickte. „Die Chemiker“, sagt er[1]), „haben sich bisher durch enge Prinzipien, welche der höheren Gesichtspunkte entbehrten, leiten lassen. Sie erblickten ihre Aufgabe in der Bereitung von Heilmitteln und in der Verwandlung der Metalle. Ich habe versucht die Chemie von einem ganz anderen Gesichtspunkte zu behandeln, nicht als Arzt, noch als Alchemist, sondern als Naturphilosoph“. Er habe, fährt er fort, den Plan für eine chemische Philosophie gezeichnet, die er durch seine Versuche und Beobachtungen zu vervollständigen hoffe. Den Menschen müsse der Fortschritt der wahren Wissenschaft mehr am Herzen liegen als ihre eigenen Interessen. Der Welt würde dadurch der größte Dienst geleistet, daß man Versuche anstelle, Beobachtungen sammle und keine Theorie aufstelle, ohne zuvor die darauf bezüglichen Erscheinungen geprüft zu haben.

Mit der Aufstellung dieser Gesichtspunkte begann für die Chemie ein neues Zeitalter. Indem Boyle als letzte Bestandteile, als Elemente im Sinne der modernen Wissenschaft, diejenigen Stoffe ansprach, die keiner weiteren Zerlegung fähig sind, war das Schicksal der aristotelischen Elemente (Feuer, Erde, Luft und Wasser, sowie der Prinzipien der Alchemisten (Salz, Schwefel und Quecksilber) besiegelt. Auch der Unterschied zwischen mechanischer Mischung und chemischer Verbindung wurde von Boyle

[1]) In seinem Preliminary discourse.

zum ersten Male scharf hervorgehoben. Als charakteristisch für die Verbindungen stellte er das Verschwinden der Eigenschaften der Bestandteile hin.

Anknüpfend an van Helmont destillierte Boyle Regenwasser aus Glasgefässen. Er fand stets einen Rückstand und glaubte damit gleichfalls bewiesen zu haben, daß sich das Wasser in erdige Bestandteile verwandeln lasse. Erst durch Lavoisier und Scheele wurde der wahre Sachverhalt aufgeklärt und die Ansicht, daß das Wasser eine derartige Umwandlung erfahren könne, als unhaltbar nachgewiesen. Ein zweiter wichtiger Versuch, an den Lavoisier bei der Begründung der neueren Chemie anknüpfte, betrifft die Verkalkung (Oxydation) der Metalle beim Erhitzen an der Luft. Boyle schmolz Zinn und Blei und wies nach, daß der erhaltene Metallkalk schwerer ist als das Metall. Um dies zu erklären, nahm er aber an, daß ein aus dem Feuer stammender Stoff das Gefäß, in dem die Schmelzung vor sich geht, durchdringe und sich mit dem Metall verbinde. Ein ähnlicher hypothetischer, von Lavoisier später als unhaltbar erkannter Stoff, das Phlogiston, das bei der Verbrennung entweichen sollte, erhielt bei den auf Boyle folgenden Chemikern eine solche Bedeutung, daß das von Boyle bis Lavoisier reichende Zeitalter der Chemie das phlogistische genannt wird.

Durch die Forschungen Boyles, dem seine Landsleute den Beinamen des großen Experimentators gegeben haben, wurde auch die analytische Chemie begründet. Bisher hatte man sich bei qualitativen Untersuchungen wesentlich auf das sogenannte trockene Verfahren beschränkt, das heute noch bei der Vorprüfung, sowie bei der Bestimmung von Mineralien Anwendung findet. Boyle lehrte die in Lösung gebrachte Substanz mit Hilfe flüssiger Reagentien untersuchen, indem er aus der Entstehung und der Beschaffenheit von Niederschlägen auf die Zusammensetzung des zu untersuchenden Stoffes schloß. So wies er Salzsäure mittelst Silberlösung und Schwefelsäure durch Kalksalze nach. Er fällte Eisen durch Galläpfeltinktur und bediente sich zum Nachweise der Säuren mit Pflanzensäften gefärbter Papiere, alles Verfahrungsarten, die auch heute noch im Gebrauch sind.

In das Zeitalter Boyles fällt auch eine Antizipation der antiphlogistischen Theorie durch den englischen Arzt John Mayow, dessen Verhältnis zu Lavoisier etwa dasselbe ist wie auf astronomischen Gebiete dasjenige Aristarchs zu Kopernikus.

John Mayow wurde im Jahre 1643 in London geboren. Er widmete sich der Heilkunst, die er in dem kleinen Badeorte Bath ausübte. Zur Beschäftigung mit der Chemie wurde er dadurch geführt, daß er die Heilquelle von Bath untersuchte. Später wurde Mayow Mitglied der Royal Society. Bald darauf (1679 starb er in noch jugendlichem Alter in London. Mayow war gleich vielen Forschern seines Zeitalters ein eifriger Anhänger der Philosophie des Descartes, dessen Werk über die Methode ihn zur mechanistischen Erklärung der Naturvorgänge angeregt hatte. Seine wichtigsten Untersuchungen und Betrachtungen legte Mayow in seinem „Tractatus quinque“ genannten Werke nieder, von dem die vor kurzem in deutscher Übersetzung erschienenen „Untersuchungen über den Salpeter und den salpetrigen Luftgeist, das Brennen und das Atmen [1])“ den für die Entwicklung der Chemie bedeutendsten Abschnitt bilden. Leider fanden die Arbeiten Mayows nicht die verdiente Beachtung. Sie gerieten infolgedessen schließlich in Vergessenheit. Es erging ihnen ähnlich wie später den botanischen Arbeiten Sprengels, welche trotz ihrer außerordentlichen Bedeutung gleichfalls ein Jahrhundert ruhten. Erst nach der Entdeckung des Sauerstoffs und nach der Begründung der antiphlogistischen Theorie durch Lavoisier wurde von deutscher und englischer Seite darauf hingewiesen, daß schon Mayow das wahre Wesen der Verbrennung und der Atmung erkannt habe. Hätte Mayow größere Beachtung gefunden und länger gelebt, um seine Lehre fester zu begründen, so würde die chemische Wissenschaft schwerlich ein Jahrhundert in der irrigen Phlogistontheorie befangen gewesen sein. Man muß nämlich erwägen, daß die Gewichtszunahme, welche die Metalle beim Erhitzen an der Luft erfahren, im 17. Jahrhundert schon von mehreren Seiten wie von Hooke, Boyle und Rey festgestellt worden war. Rey war es auch, der diese Erscheinung auf den Zutritt der Luft zu den Metallen zurückführte. Und Hooke, der so oft mit seinen aphoristischen Bemerkungen das Richtige traf und ja auch die Gravitationstheorie antizipierte, gab in seiner Mikrographie (1665) eine Verbrennungstheorie, welche gleichfalls schon den Keim der antiphlogistischen Lehre enthielt. Hooke nahm nämlich an, daß in der Luft und im Salpeter eine Substanz enthalten sei, die auf die brennbaren Körper wirke.

---

[1]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 125. Leipzig, W. Engelmann. 1901.

Von der Untersuchung des Salpeters geht auch Mayow aus. Diese wunderbare Substanz meinte er, sei berufen, in der Wissenschaft ebensoviel Lärm wie im Kriege zu verursachen. Als Bestandteile des Salpeters lehre die Spaltung und Bildung dieser Substanz einen sauren Salpetergeist (wie er die Salpetersäure nennt) und eine alkalische Substanz kennen. Gieße man nämlich die durch Destillation aus dem Salpeter erhaltene Säure auf ein alkalisches Salz, so bilde sich der Salpeter mit all seinen bekannten Eigenschaften von neuem. Auch der natürliche Salpeter entstehe durch die Einwirkung von Salpetergeist auf alkalische Salze des Bodens; doch dürfe man nicht annehmen, daß der Salpetergeist als solcher in der Luft enthalten sei. Vielmehr sei in der Luft nur ein Teil des Salpetergeistes, d. h. der Salpetersäure, enthalten. Diesen Teil nennt Mayow die Luftsubstanz. Letztere unterhalte die Verbrennuug und die Atmung. Sie ist also mit dem Sauerstoff der Antiphlogistiker identisch.

Es verdiene auch Erwähnung, bemerkt Mayow, daß Antimon durch Verkalkung an Gewicht zunehme. Es sei schwer einzusehen, woher diese Gewichtszunahme rühre, wenn nicht von den mit dem Metall sich verbindenden Luftteilchen. „Ich weiß sehr wohl", fügt er hinzu, ,,daß nach der gewöhnlichen Meinung die Verkalkung des Antimons in der Entfernung seines Schwefels bestehen soll. Trotzdem bin ich geneigt zu glauben, daß diese Ansicht kaum die Wahrheit trifft".

Der Hauptzweck der Atmung besteht nach Mayow darin, gewisse, dem tierischen Leben unentbehrliche Teilchen vermittelst der Lungen aus der Luft zu gewinnen und sie mit dem Blute auf das innigste zu vermischen. Er habe, sagt Mayow, Versuche angeführt, welche zeigten, daß die von den Lungen ausgeatmete Luft gewisser elastischer Teilchen beraubt sei, wobei die Luft eine gleichzeitige Volumverminderung erfahre. Letztere werde dadurch hervorgerufen, daß der Luft die salpetrigen Luftteilchen (d. h. der Sauerstoff) entzogen werden.

Mayow legt sich sodann die Frage vor, welche Aufgabe der in das Blut gelangende Sauerstoff im Organismus zu erfüllen habe und findet auch hierauf eine im ganzen richtige Antwort. „Ich huldige der Ansicht" bemerkt er, „daß sowohl bei den Tieren als auch bei den Pflanzen der salpetrige Luftgeist die Hauptquelle des Lebens und der Bewegung ist". Auch die Körperwärme könne man nicht etwa auf eine in den Gelenken stattfindende Reibung zurückführen. Sie rühre vielmehr gleichfalls von der

Wirkung des Sauerstoffs auf das Blut her, in welchem brennbare Stoffe in Menge vorhanden seien. Daß das Blut bei seinem Eintritt in die Lunge dunkel, und beim Verlassen hellrot ist, war eine Mayow bekannte, durch Sektionen ermittelte Tatsache. Daß es sich hierbei um eine chemische Einwirkung der Luft auf das Blut handelt, geht ihm daraus hervor, daß venöses, der Luft ausgesetztes Blut an der Oberfläche hellrot wird, während die unteren Schichten dunkel bleiben.

Im Lichte der von Mayow entwickelten Theorie der Atmung gewannen also auch verwandte Gebiete der Physiologie, wie der Mechanismus der Atmungs- und der Kreislauforgane, an Klarheit. Auch darauf wies Mayow hin, daß beim Fötus an die Stelle der Atmung die Versorgung mit Sauerstoff durch das arterielle, an Sauerstoff so reiche Blut der Mutter tritt.

Die von Mayow ausgesprochenen Ansichten waren nicht etwa lediglich glückliche Divinationen, sondern das Ergebnis oft sehr sinnreich ausgedachter Versuche. Eins der schönsten Beispiele und wohl eine der ersten gasometrischen Untersuchungen ist folgendes: Man bringe einen Stab in der Weise, wie es die Abbildung 63 zeigt, in einem Glasgefäße an. An diesen Stab hänge man einen glasierten, mit Salpetersäure (Salpetergeist nennt sie Mayow) gefüllten Topf. Dicht über den Topf wird an einem Faden ein Bündel von Eisenstückchen befestigt. Der Faden wird zunächst über den Stab und dann unter den Rand des Gefäßes hinaus geführt (siehe Abb. 63), sodaß man das Eisenbündel in die Säure tauchen und wieder herausziehen kann. „Nachdem nun“, fährt Mayow fort, „die durch Berührung mit den Händen erwärmte Luft sich abgekühlt hat und die Höhe des inneren Wasserspiegels angemerkt worden ist, lasse man die Eisenstücke in die Säure gleiten“. Es entstand eine lebhafte Einwirkung, und das innere Niveau wurde durch die entwickelten Dämpfe zunächst herunter gedrückt. Nachdem die Reaktion einige Zeit gedauert, zog Mayow das Eisen wieder empor. Jetzt stieg das Wasser über den ursprünglichen Stand, wobei „ein Viertel des von der Luft ursprünglich erfüllten Raumes von dem Wasser eingenommen

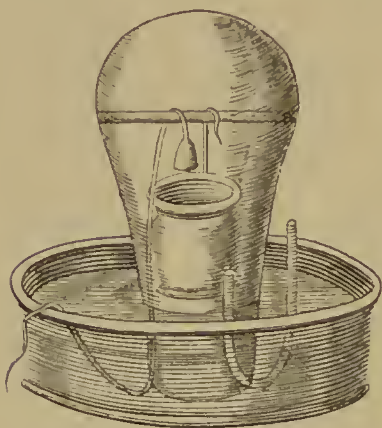


Abb. 63. Mayows Analyse der Luft.

wurde". Diese Raumverminderung wird ganz richtig auf die Fortnahme des Sauerstoffes oder, wie Mayow sagt, der salpetrigen Luftteilchen zurückgeführt[1]). „In der Tat", sagt er, „erfährt hier die Luft eine Verminderung auf ganz dieselbe Weise wie bei der Verbrennung". Man beachte, daß das erste Eudiometer auf derselben Wechselwirkung zwischen den aus der Salpetersäure entstehenden Gasen und dem Sauerstoff der Luft beruht.

1) Ostwalds Klassiker Nr. 125 S. 15.

9. Der Ausbau der Botanik und der Zoologie nach dem Wiederaufleben der Wissenschaften.

Wir haben in einem früheren Abschnitt die ersten Ansätze zur Neubegründung der organischen Wissenschaften kennen gelernt. Das wichtigste Ergebnis auf dem Gebiete der Botanik waren die Entstehung der Kräuterbücher (Bock und Brunfels), die Anlage der ersten botanischen Gärten und Herbarien, sowie die Ausdehnung der Florenkenntnis auf die neuentdeckten außereuropäischen Länder. Gleichzeitig erfolgte die Neubegründung der Zoologie durch die umfassenden Werke eines Geßner und eines Aldrovandi. Wotton verbesserte die Systematik, während Vesal die Grundlagen der neueren Anatomie errichtete.

In der Pflege der Botanik zeichneten sich neben den Deutschen besonders die Niederländer aus. War doch die Anregung, welche diesem Volksstamm durch den Handel und die Entdeckungsreisen auf naturhistorischem Gebiete zuteil wurde, nicht gering. Auch standen schon damals der Gartenbau und die Blumenzucht in den Niederlanden in hoher Blüte. Als der größte Botaniker des 16. Jahrhunderts galt Karl Clusius in Antwerpen (1525—1609). Er war eine zeitlang mit der Verwaltung der kaiserlichen Gärten in Wien betraut und fand dadurch Gelegenheit, auch Ungarn naturhistorisch zu durchforschen. Clusius starb als Professor der Naturgeschichte in Leyden im Jahre 1609, nachdem er die Botanik um eine derartige Fülle neuer Arten bereichert hatte, wie niemand vor und nach ihm. Die Frucht seines Aufenthalts in Österreich-Ungarn war eine Flora von Osteuropa[1]). Von Augsburg hatte er mit Angehörigen des Hauses Fugger eine Reise durch Frankreich, Spanien und Portugal unternommen. Das Ergebnis dieser Reise war ein floristisches Werk über die pyrenäische Halbinsel[2]).

1) Rariorum stirpium per Pannoniam, Austriam et alias provincias obervatorum historia. Antwerpen 1583.

2) Rariorum stirpium per Hispanias observatorum historia. Antwerpen 1576.

Außerdem hat Clusius als einer der ersten die Pflanzen Indiens und der Levante beschrieben[1]).

Clusius hat die neuen Arten aber nicht nur beschrieben, sondern auch vortrefflich abgebildet. Er konnte solch gewaltige Leistungen nur mit Unterstützung von zahlreichen Forschern und Reisenden vollbringen. Unter seinen Mitarbeitern ragt der Niederländer Lobelius hervor. Er wurde 1538 geboren und starb 1616 als Botanograph des Königs Jacob I, dessen Gärten er verwaltete, in England.

Bei Lobelius tritt das Gefühl für die natürliche Verwandtschaft schon sehr deutlich hervor. So bilden die Gräser, die Liliaceen, die Orchideen, die Kreuzblüter, die Doldengewächse, die Schmetterlings- und die Lippenblüter bei ihm schon deutlich erkennbare Gruppen.

Während man sich im 16. Jahrhundert in Mitteleuropa vorzugsweise der umgebenden Pflanzenwelt zuwandte, bemühten sich die Italiener um diese Zeit in erster Linie um die Erklärung der alten botanischen Schriften. Da sie aber merkten, daß bei Dioskorides und Plinius nur ein geringer Bruchteil der in Italien vorkommenden Pflanzen erwähnt wird, wandten auch sie sich zumal in Norditalien der Erforschung der heimatlichen Flora zu. Hier waren es besonders die südlichen Kalkalpen, welche durch ihren außergewöhnlichen Pflanzenreichtum die Aufmerksamkeit von Apothekern, Ärzten und anderen der Naturforschung obliegenden Männern auf sich zogen. So entstanden in Venedig und Verona mehrere Monographien, die sich ausschließlich mit der Flora des an Pflanzen so reichen Monte Baldo, eines östlich vom Gardasee gelegenen Kalkgebirges, beschäftigten.

Einer der hervorragendsten unter den italienischen Botanikern des 16. Jahrhunderts war Mattioli (1501—1577). Er wußte wie kein anderer den Dioskorides zu kommentieren und „mit seltener Spürkraft die Pflanzen der Alten zu erraten“[2]). Mattioli war aber auch ein scharfer Beobachter und eifriger Sammler, welcher die Wissenschaft um die Kenntnis zahlreicher neuer Arten vermehrte.

Das Bestreben, an die Stelle der anfangs üblichen alphabetischen eine natürliche Anordnung zu setzen, fand eine Fortsetzung bei Bauhin, in welchem die erste Periode der neueren Botanik ihren Gipfel erreichte.

[1]) Exoticorum libri 10. Antwerpen 1605.

[2]) Sprengel, Geschichte der Botanik. I. 294.

Kaspar Bauhin wurde 1550 als Sohn eines Arztes in Basel geboren. Er verbrachte einen Teil seiner Studienzeit in Padua und durchforschte die Flora von Deutschland, Italien und Frankreich. Ganz davon abgesehen, daß Bauhin zahlreiche neue Arten entdeckte, besteht sein großes Verdienst in der Durchführung der erschöpfenden Artdiagnose, der Einführung der binären Nomenklatur, der Anordnung der Pflanzen nach ihrer Ähnlichkeit und endlich der Entwirrung der zahllosen Synonyme.

Wir beginnen mit dem letzten Punkte. Seit dem Wiederaufleben der botanischen Forschung waren in allen Teilen Europas und in den entdeckten außereuropäischen Ländern neue Pflanzen bekannt geworden, welche an Zahl die von den Alten beschriebenen Pflanzen bei weitem übertrafen. Die Benennung dieser neuen Pflanzen war aber ohne einheitliche Gesichtspunkte und zum Teil unter ganz willkürlicher Verwertung der alten Pflanzennamen ererfolgt. Ja, derselben Art waren von den verschiedenen Schriftstellern häufig auch verschiedene Namen beigelegt und der gleiche Namen für verschiedene Arten gebraucht worden. Die Verwirrung war also eine heillose und drohte jeden gesunden Fortschritt der Wissenschaft, für welche der Name nicht wie für die dichterische Phantasie Schall und Rauch ist, zu untergraben. Diesem unhaltbaren Zustande machte nun Kaspar Bauhin durch sein in vierzigjähriger, mühevoller Arbeit entstandenes Werk über die Pflanzensynonyme ein Ende[1]). In diesem Werke wies er für alle ihm bekannten, etwa 6000 Arten die von den verschiedenen Botanikern gebrauchten Namen nach und schuf damit für die botanische Literatur das vollständigste Synonymenwerk, das noch heute für den Systematiker wichtig ist. „Gewiß kein kleines Lob, welches einem Buche nach 250 Jahren noch gespendet werden kann[2])!"

Auf solche Weise brachte Bauhin nicht nur Ordnung in den gelehrten Wust seiner Vorgänger, sondern er suchte durch die vorbildliche Art, wie er selbst die Pflanzen benannte und beschrieb, dem Einreißen einer neuen Verwirrung vorzubeugen. Die Beschreibung der Pflanzen wurde nämlich von ihm zu der Kunst ausgebildet, in wenigen Zeilen eine erschöpfende, die Wiedererkennung leicht ermöglichende Pflanzendiagnose zu geben. Jede seiner Artdiagnosen berücksichtigte in aller Kürze sämtliche Teile

---

1) Pinax theatri botanici. Basel 1623.

2) Sachs, Geschichte der Botanik S. 37.

der Pflanze. Die Form, die Größe, die Verzweigung der Wurzel und des Stengels, die Gestalt der Blätter, die Beschaffenheit der Blüte, der Frucht und des Samens: alles wurde in knappen, treffenden Worten aufgeführt, ohne den Raum von etwa 20 Zeilen zu überschreiten. Ferner wurden Arten und Gattungen bei ihm scharf und bewußt unterschieden. Jede Art erhielt eine meist aus zwei Wörtern bestehende Benennung, welche als Gattungs- und Speziesnamen gelten können. Diese binäre Nomenklatur, um deren konsequente Durchführung sich später Linné so große Verdienste erworben hat, ist also auf Bauhin als ihren Urheber zurückzuführen.

Endlich tritt bei Bauhin in seinem Synonymenwerk die Anordnung nach der Ähnlichkeit in den gesamten Merkmalen, nach natürlichen Familien würden wir heute sagen, noch mehr wie bei Lobelius hervor, ohne daß jedoch die so erhaltenen Gruppen benannt oder deutlich voneinander getrennt worden wären. Auch Bauhin beginnt mit den Gräsern, die er für die einfachsten Blütenpflanzen hielt. Es folgen die Liliengewächse, die wichtigsten Familien der krautartigen Pflanzen und endlich die Bäume. Die Sonderstellung der Farnkräuter vermochte Bauhin so wenig wie Lobelius zu erkennen. Auch fehlt es nicht an Zusammenstellungen, die uns heute als große Irrtümer erscheinen. So bringt Bauhin z. B. die phanerogamen Wasserlinsen mit den Moosen und die Schwämme mit den Meeresalgen in Verbindung. Andererseits dürfen wir ihm solche Fehler nicht zu sehr anrechnen, weil das Verhältnis der Kryptogamen zu den Phanerogamen erst Jahrhunderte nach Bauhin seine Aufklärung gefunden und die Natur der Pflanzentiere erst im 18. Jahrhundert durch Trembley enthüllt wurde.

Während also das induktive Verfahren, dessen Ansätze uns in den Kräuterbüchern begegnen, zu einer wenn auch noch mangelhaften natürlichen Systematik führte, ging man in Italien bei der Neubegründung der Botanik in aristotelischer Weise von vorher getroffenen Einteilungsprinzipien aus. Hier suchte Caesalpin den immer mehr anschwellenden Artenreichtum zu bewältigen, indem er seiner Anordnung insbesondere die Beschaffenheit der Früchte zugrunde legte. Diese Richtung der einseitig künstlichen Systematik wurde in der Folge zunächst zur herrschenden, weil sie dem Bedürfnis der Praxis besser entsprach als die noch unvollkommene natürliche Gruppierung, die für die Wissenschaft jedoch einen höheren Wert besitzt. Wir werden später Linné als denjenigen

kennen lernen, dem das von Caesalpin erstrebte Werk gelang. Linné erwies diesem seinem Vorgänger auch alle Anerkennung, indem er ihn als den ersten wahren Systematiker bezeichnete.

Caesalpin gründete sein System auf bestimmte Merkmale des Samens und der Früchte, während Tournefort (1656–1708) die Beschaffenheit der Blumenkrone den Zwecken der Systematik dienstbar zu machen suchte.

Das botanische Hauptwerk des Andrea Caesalpino[1]) erschien 1583 unter dem Titel: De plantis libri XVI. Caesalpin liefert zwar auch Beschreibungen einzelner Pflanzen. Er geht aber nach zwei Richtungen über die Verfasser der Kräuterbücher hinaus. Einmal beschränkt er sich nicht wie jene auf die Schilderung des allgemeinen Habitus der vorliegenden Pflanze, sondern er unternimmt auch eine genauere Untersuchung der einzelnen Pflanzenteile und berücksichtigt dabei besonders die Fruktifikationsorgane. Zweitens begegnet uns bei Caesalpin eine denkende, philosophische Betrachtung der Pflanze im allgemeinen und ihrer Natur. Die Grundzüge der theoretischen Botanik, zu denen er auf diese Weise in der Einleitung zum ersten Buche seines Werkes gelangt, sind indessen in überwiegend aristotelischem Sinne abgefaßt. Da die Pflanze ausschließlich jene Art von Seele besitze, durch welche die Ernährung, das Wachstum und die Fortpflanzung erfolge, so begnüge sie sich mit viel einfacheren Werkzeugen als das Tier, dem auch Bewegung und Empfindung zukomme. Die Tätigkeit der Pflanzenseele bestehe darin, durch die Ernährung das Einzelwesen und durch die Fortpflanzung die Art zu erhalten. Daher seien den Pflanzen zwei Teile verliehen, die Wurzel, durch welche sie die Nahrung aufnehmen, und der Stengel, welcher die Frucht erzeuge. Für die niederen Pflanzen, wie die Pilze und Flechten, an denen Caesalpin noch keine Fortpflanzungsorgane wahrzunehmen vermochte, nimmt er mit Aristoteles die Urzeugung (Generatio spontanea) an. Sie entständen, sagt er, durch Fäulnis und brauchten sich daher nur zu ernähren und zu wachsen. Sie seien Mitteldinge zwischen der unorganischen Natur und den vollkommenen Pflanzen, wie es ja auch Übergangsstufen zwischen den letzteren und den Tieren gebe.

Der Einfluß, den Caesalpin auf die Entwicklung der Botanik im 17. und 18. Jahrhundert ausgeübt hat, ist nicht zu unterschätzen. Das von ihm begründete Lehrgebäude wurde durch

---

1) Er wurde 1519 in Arezzo geboren, war ein Schüler des (Bd. I. S. 363) erwähnten Luca Ghini und starb 1603.

Linné vollendet und damit die Entwicklung einer künstlichen Systematik im wesentlichen zum Abschluß gebracht.

In das 17. Jahrhundert fallen auch die ersten Schritte zur Begründung einer wissenschaftlichen Morphologie der Pflanzen. Als ihr Hauptvertreter ist der Deutsche Joachim Jungius zu nennen. Mit dem Lebensgange dieses Mannes (1587—1657) und seiner Bedeutung für die allgemeine Geisteskultur unseres Zeitalters haben wir uns schon an anderer Stelle befaßt. Sein Bestreben, Besseres an die Stelle des scholastischen Wortkrams zu setzen, der im 17. Jahrhundert sich in Deutschland breit machte, war besonders auf botanischem Gebiete von Erfolg begleitet. Ein gewaltiger handschriftlicher Nachlaß[1]) zeugt indessen davon, daß sich die Reformbestrebungen des Jungius auf das gesamte Gebiet der Naturlehre erstreckten. Mit logischer Klarheit, gestützt auf Demokrits Atomistik und ausgestattet mit einem scharfen Beobachtungsvermögen, hat Jungius erfolgreich an der Erneuerung der Wissenschaften gearbeitet. Sein Einfluß hätte noch größer sein können, wenn er sich nicht auf Vorträge, Diktate und schriftliche Aufzeichnungen beschränkt hätte. Zum Glück ging es nicht wie ein Jahrhundert vorher bei Lionardo da Vinci, der auch nichts von seinen wertvollen Aufzeichnungen veröffentlicht und infolgedessen auf die Entwicklung der Wissenschaften einen viel zu geringen Einfluß ausgeübt hat. Während die Manuskripte Lionardos erst gegen das Ende des 18. Jahrhunderts zugänglich gemacht wurden, kamen wichtige botanische Schriften des Jungius bald nach seinem Tode durch Vermittlung seiner Schüler an das Licht der Öffentlichkeit. Sie fanden nicht nur in der Heimat, sondern auch in England durch Ray und in Schweden durch Linné die ihnen gebührende Beachtung.

Durch sein botanisches Hauptwerk[2]) wirkte Jungius nach zwei Richtungen. Zunächst schuf er eine wissenschaftliche Terminologie, die so geeignet war, daß sie zum Teil sich bis auf den heutigen Tag erhalten hat. So sind, um ein Beispiel zu erwähnen, die noch heute für die verschiedenen Blütenstände gebräuchlichen Ausdrücke wie spica, panicula, umbella, corymbus, sowie ihre genauere Definition auf Jungius zurückzuführen. Auch Linné hat sich hinsichtlich der Nomenklatur eng an Jungius

[1]) Emil Wohlwill, Joachim Jungius. Mit Beiträgen zu Jungius' Biographie und zur Kenntnis seines handschriftlichen Nachlasses. Hamburg 1888.

[2]) Isagoge phytoscopica. 1678.

angeschlossen. Jungius war es ferner, der zuerst auf die Formwandlungen hinwies, welche die Blätter eines Stengels mit ihrer Entfernung vom Erdboden erfahren. Auch die einfachen und die vorher oft mit Zweigen verwechselten zusammengesetzten Blätter wurden von ihm deutlich unterschieden und benannt.

Sehr ausführlich hat Jungius auch die Gestalt der Blüte behandelt, obgleich ihm das Wesen der Sexualität noch verborgen war. Die Klarstellung der morphologischen Grundbegriffe bedingte auch eine bessere Anordnung der Pflanzen. Geruch, Geschmack, medizinische Wirkungen, Farbe und andere nebensächliche Charaktere wurden von Jungius als wertlos für die Anordnung erachtet. Auch die bis dahin immer noch anzutreffende Einteilung in Bäume, Sträucher und Kräuter wurde von ihm als nichtig zurückgewiesen.

Im einzelnen gestaltete Jungius das Pflanzensystem übersichtlicher, indem er für zahlreiche, früher getrennt aufgeführte Pflanzen die Zusammengehörigkeit nach ihrem gesamten Habitus nachwies und Regeln für die Benennung der Pflanzen anfstellte.

Die von Jungius entwickelten Grundsätze fanden zunächst in England fruchtbaren Boden, wo sie Morisons und Rays Bemühungen um den Ausbau der systematischen Botanik förderten[1]).

Morison unterzog das System Kaspar Bauhins, wie dieser es in seinem Pinax niedergelegt hatte, einer gründlichen Durchsicht und zeigte, welche Pflanzen dort einen unrichtigen Platz einnahmen. Ferner war er der erste Botaniker, der eine größere Pflanzengruppe, und zwar die Umbelliferen, einer eingehenden, monographischen Bearbeitung unterwarf[2]). Die Doldengewächse wurden in dieser Arbeit nach der Beschaffenheit der Früchte in eine Reihe von Unterabteilungen zerlegt.

In Morisons Fußstapfen trat der auch als Zoologe bekannt gewordene John Ray[3]). Er stellte in seinem umfangreichen Werke[4]) ähnlich wie Bauhin den gesamten, bis dahin geschaffenen Inhalt der botanischen Wissenschaft zusammen. Die morphologischen Teile behandelte er im engsten Anschluß an Jungius. In seinem System kommen zum ersten Male die großen natürlichen Gruppen des Pflanzenreichs zum Ausdruck. Er beginnt mit den unvollkommenen Pflanzen (Imperfectae), den Pilzen, Moosen, Farn-

1) Robert Morison wurde 1620 in Aberdeen geboren. Er starb 1683.
2) Plantarum umbelliferarum distributio nova. 1672.
3) Er wurde 1628 in Essex geboren und starb 1705.
4) Historia plantarum 1686—1704.

kräutern und unterseeischen Pflanzen. Zu letzteren werden neben den Tangen auch Pflanzentiere gerechnet. Die blühenden Pflanzen teilt Ray in die zweisamenlappigen (Dikotyledonen) und die einsamenlappigen Gewächse (Monokotyledonen). Von letzteren werden die Gräser mit besonderer Ausführlichkeit behandelt und nach ihrem Gesamteindruck systematisch weiter gegliedert.

Den Monokotylen werden auch die Palmen, die Liliengewächse und die Orchideen zugewiesen. Die natürlichen Gruppen der Labiaten und der Schmetterlingsblüter hatte man schon früher erkannt. Mehr oder minder deutlich treten jetzt auch die Kreuzblüter, die Rubiaceen, die Rauhblätterigen, die Korbblüter und andere, dem natürlichen System entsprechende Gruppen zutage. Die Einteilung im einzelnen blieb indessen noch recht mangelhaft, da es noch zu sehr an leitenden Grundsätzen fehlte. Hatte Morison und nach ihm Ray in der Beschaffenheit der Früchte ein systematisches Merkmal von hervorragender Wichtigkeit erblickt, so legte der Deutsche Rivinus[1]) den größten Wert auf die Zahl und den Zusammenhang der Kronenblätter. Bei Rivinus begegnet uns auch der von Linné später durchgeführte Grundsatz, den Gattungsnamen bei jeder Art zu wiederholen und letztere durch ein hinzugefügtes Adjektiv auszudrücken.

In Frankreich fand in diesem, Linné vorhergehendem Stadium der Botanik diese Wissenschaft ihren hervorragendsten Vertreter in Tournefort[2]). Sein System bedeutete insofern einen Rückschritt, als es die von Ray gebildeten, großen, natürlichen Gruppen der Kryptogamen, Monokotylen und Dikotylen nicht zum Ausdruck brachte. Für die Einteilung der Blütenpflanzen war, wie bei Rivinus, die Beschaffenheit der Blumenkrone maßgebend. Danach wurden blumenblattlose (apetale) und petaloide Pflanzen unterschieden. Letztere zerfielen in einblätterige (monopetale) und vielblätterige (polypetale) Pflanzen. Zu den monopetalen rechneten z. B. die Glockenblumengewächse und die Lippenblüter mit ihren aus einem Stück bestehenden Kronen, zu den Polypetalen dagegen Kreuzblüter, Rosengewächse, Schmetterlingsblüter usw.

Die 22 Klassen, zu welchen Tournefort unter gleichzeitiger Verwertung der so unbestimmten Begriffe Bäume, Sträucher und

[1]) Latinisiert für Bachmann (1652—1725).

[2]) Tournefort (1656—1708) wurde in der Provence geboren. Er wirkte als Professor am Jardin des Plantes und durchforschte die Flora in Griechenland, Nordafrika und Kleinasien, Ländern, welche der Botanik des Altertums wegen immer noch eine besondere Anziehungskraft ausübten.

Kräuter gelangte, zerfielen in Gruppen. Soweit es sich um petaloide Pflanzen handelte, wurden diese Gruppen nach der Beschaffenheit der Kronen gebildet. So wurden bei den Lippenblütern solche mit gerader, helmartiger und löffelförmiger Oberlippe unterschieden. An diese reihten sich die Lippenblüter ohne Oberlippe. Tournefort schuf also ein künstliches System, d. h. ein solches, das sich auf die Beschaffenheit eines willkürlich herausgegriffenen Organs, und zwar der Krone, gründete. Dies System war während der ersten Jahrzehnte des 18. Jahrhunderts das herrschende. Dann wurde es durch Linnés künstliches System, das sich auf die Beschaffenheit der Staubgefäße gründete, abgelöst. Tournefort selbst hatte den Staubgefäßen nur geringe Bedeutung beigelegt, indem er sie als bloße Absonderungsorgane betrachtete.

Man hat Tournefort wohl das Verdienst zugeschrieben, daß er den Begriff der Gattung festgestellt habe. Gattungs- und Artbegriff haben sich indessen durch Einzelbeschreibung und Vergleich seit dem Wiederaufblühen der Botanik ganz allmählig herausgebildet. Caspar Bauhin trug diesen Begriffen ferner schon lange vor Tournefort durch seine Art der Namengebung Rechnung. Beide Begriffe nahmen allerdings an Bestimmtheit zu, je mehr man die wesentlichen von den unwesentlichen Merkmalen unterscheiden lernte und erkannte, daß die Zusammengehörigkeit zu einer Gattung nicht durch die Übereinstimmung eines einzigen, sondern der Mehrzahl der wesentlichen Teile bestimmt sei. Als solche wurden immer mehr die Fortpflanzungsorgane erkannt.

Weniger fest stand der Artbegriff, weil man bei seiner Aufstellung mitunter nur veränderliche Abwandlungen des Typus berücksichtigte und Spielarten von echten Arten noch nicht zu unterscheiden wußte. Zu dieser Frage äußerte sich auch Leibniz, indem er dem einseitig systematischen Standpunkte einzelner Botaniker eine recht zutreffende, im Einklang mit dem natürlichen Systeme stehende Bemerkung entgegenhielt. Anlaß dazu gab ihm die Äußerung eines deutschen Botanikers, die für das System verwertbaren Merkmale seien nicht den Blüten, sondern den Wurzeln zu entnehmen. Leibniz bemerkt dazu[1]), man müsse die Merkmale aller Teile berücksichtigen. Dabei sei aber zu beachten, daß der Zweck des Pflanzenlebens die Erhaltung des Einzelwesens und der Art sei. Deshalb müsse man beim Aufbau des Systems

1) Sprengel, Geschichte der Botanik. II. 157.

denjenigen Teilen den Vorzug geben, welche zu diesen Zwecken in engster Beziehung ständen.

Ganz verfehlt wäre es in diesem und in anderen, ähnlich liegenden Fällen solchen gelegentlichen treffenden Äußerungen einen für den Gang der Wissenschaft entscheidenden Wert beizulegen und Leibniz z. B., wie es wohl geschehen ist, zu den Mitbegründern der Sexualtheorie und des darauf begründeten Systems zu rechnen.

Eine ähnliche Entwicklung wie sie die Botanik nach dem Wiederaufleben der Wissenschaften erfuhr, begegnet uns auf dem Gebiete der Zoologie. Auch hier knüpfte man zunächst an die Alten an; darauf begab man sich an die Beobachtung und die Beschreibung der zugänglichen Tierformen. Aus den Einzelbeschreibungen erwuchsen umfangreiche zoographische Sammelwerke. Als Repräsentanten dieser Richtung haben wir besonders Gesner und Aldrovandi kennen gelernt. Wie die Pflanzenkenntnis so wurde auch die Kenntnis der Tierformen durch die geographischen Entdeckungen außerordentlich erweitert. Um die Mitte des 17. Jahrhunderts begegnen uns schon besondere Werke über die Faunen Brasiliens und Ostindiens.

Auf die Periode des Sammelns folgte diejenige des Ordnens. Auch in dieser Hinsicht läuft die Entwicklung der Zoologie derjenigen der Botanik parallel. Ja, es sind zum Teil dieselben Männer, welche im 17. Jahrhundert sich der Systematik des Tier- und Pflanzenreiches widmen. Dies gilt auch von dem größten Systematiker auf dem Gebiete der Zoologie des 17. Jahrhunderts, dem Engländer Ray.

John Ray wurde 1628 in Essex geboren. Er durchforschte die Tier- und Pflanzenwelt Großbritanniens, Deutschlands, Frankreichs und Italiens, war Mitglied der Royal-Society und starb im Jahre 1705. Nach der Herausgabe mehrerer botanischer Werke[1]) schuf er ein für die systematische Zoologie grundlegendes Werk in seiner Synopsis vom Jahre 1693. Ray teilt darin die Tierwelt in Wirbeltiere und in Wirbellose ein, wie es schon Aristoteles getan. Er bedient sich sogar der aristotelischen Bezeichnungen „Bluttiere“ und „Blutlose“. Die Wirbeltiere zerfallen nach Ray in Lungenatmer und Kiemenatmer (Fische). Die Lungenatmer werden in Lebendiggebärende und Eierlegende (Vögel) eingeteilt. Auch der Bau des Gefäßsystems wird verwertet, indem die eier-

[1]) Historia plantarum (1686) und Methodus plantarum nova (1682).

legenden Lungenatmer mit nur einem Herzventrikel zu einer besonderen Gruppe zusammengefaßt werden. Für die Bildung von Unterabteilungen werden der Bau des Gebisses und die Beschaffenheit der Gliedmaßen verwertet. So begegnen uns Nagetiere (Hasenartige), Krallentiere, die Ein-, Zwei- und Vierhufer (Nashorn und Nilpferd). Nach ähnlichen Gesichtspunkten werden die Vögel gruppiert, sodaß auch hier die Grundlagen der späteren Einteilung geschaffen wurden. Die Wirbellosen zerfallen bei Ray in Weichtiere, Krustentiere (Krebse), Schaltiere (Muscheln und Schnecken) und Insekten. Letztere hat er am eingehendsten bearbeitet. Er begreift darunter alle mit Einschnitten versehenen Tiere.

Was Ray auf dem Gebiete der zoologischen Systematik geschaffen, bildete die unmittelbare Grundlage der Linnéschen Systematik, die uns an späterer Stelle beschäftigen wird. Auch in der scharfen Erfassung des Artbegriffes war Ray ein Vorläufer Linnés. „Welche Formen", heißt es bei Ray [1]), „der Species nach verschieden sind, behalten diese ihre spezifische Natur beständig, und es entsteht die eine nicht aus dem Samen einer anderen und umgekehrt." Ray huldigte indessen noch keineswegs der starren Auffassung des Artbegriffes, der uns bei den Systematikern des 18. Jahrhunderts begegnet. Denn er fügt seiner Erklärung [2]) folgende Einschränkung hinzu: „Nun ist aber dieses Zeichen der spezifischen Übereinstimmung, obschon ziemlich konstant, doch nicht beständig und untrüglich".

Das 17. Jahrhundert war indessen für die Zoologie und die Botanik nicht etwa ein Zeitalter der bloßen Systematik. Es kam vielmehr als zweites, besonders wichtiges Moment hinzu, daß die beschreibenden Naturwissenschaften unter den Einfluß der seit Galilei mächtig emporblühenden exakten physikalischen Forschung gerieten. Dies führte zur Anwendung besonderer neuerer Hilfsmittel, z. B. des Mikroskops, auf die Erforschung der Lebewesen. Die Blicke der Zoologen und der Botaniker wurden dadurch mehr als bisher auf den inneren Bau der Organismen und auf die kleinsten Lebewesen gelenkt. Ja, es erschloß sich den erstaunten Blicken eine neue Welt, die bis dahin, der Kleinheit ihrer Formen wegen, den Sinnen ganz verschlossen geblieben war. Die Berührung mit der physikalischen Forschung führte aber nicht nur zur Anwendung technischer Hilfsmittel, sondern es wurde auch die Methode der

1) Historia plantarum Bd. I. 1886. S. 40.
2) a. a. O. S. 42.

neueren physikalischen Forschung, der messende Versuch, auf die Erscheinungen der Tier- und Pflanzenwelt übertragen. Von Einfluß war in dieser Hinsicht auch der Grundzug der neueren, mit Descartes anhebenden Philosophie, die alles Geschehen auf die Grundgesetze der Mechanik zurückzuführen suchte und selbst die Organismen nach der körperlichen Seite als bloße Maschinen betrachtete. So entstand im 17. Jahrhundert die biomechanische Richtung, als deren Hauptvertreter wir Borelli kennen lernen werden. Die hier nur angedeuteten, auf den Einfluß der Physik zurückzuführenden Fortschritte der biologischen Wissenschaften sollen in besonderen Abschnitten behandelt werden, nachdem wir zunächst das Emporblühen der anorganischen Wissenschaften während der auf Galileis Zeitalter folgenden Newton-Huygens-Periode kennen gelernt haben.

10. Die Begründung der großen wissenschaftlichen Akademien.

Während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts lag der Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der Mechanik. Erst nachdem man die Gesetze festgestellt, welche das Verhalten der festen, flüssigen und gasförmigen Körper regeln, war eine Grundlage für die weitere Erforschung alles Geschehens geschaffen. Den Versuch einer mechanischen Erklärung der Naturerscheinungen unternimmt das nachfolgende Zeitalter, dessen bedeutendste Tat die Begründung der Mechanik des Himmels durch Newton ist.

Galilei hatte in einem an Kepler gerichteten Briefe die Befürchtung ausgesprochen, daß auf den das 17. Jahrhundert kennzeichnenden wissenschaftlichen Aufschwung vielleicht eine Zeit des Stillstandes eintreten werde. War doch auf die Blüteperiode der griechischen Wissenschaft eine Brache von vielen Jahrhunderten gefolgt. Diese Befürchtung Galileis erwieß sich zum Glück als grundlos. Die Wissenschaft war zu einem Gemeingut der zivilisierten Menschheit geworden; sie war nicht mehr an das Schicksal eines Volkes gebunden. Während auf dem Boden Italiens rückwärtsgerichtete Bestrebungen ihren Fortschritt hemmten, gelangte sie vornehmlich in England und in Frankreich zur Entfaltung. Günstig beeinflußt wurden die Naturwissenschaften durch den Fortschritt der Mathematik, insbesondere durch die Begründung der analytischen Geometrie und der Infinitesimalrechnung, sowie durch das Emporblühen der neueren, mit Descartes anhebenden Philosophie. Eine zu weit gehende Arbeitsteilung, wie sie heute nicht ohne Gefahr für die Wissenschaft Platz gegriffen, bestand damals noch nicht. So sehen wir die hervorragendsten Philosophen und Mathematiker — es sei nur an Descartes[1]) und Leibniz erinnert — eifrig an der Lösung

---

[1]) Jungmann, Karl, Die Weltentstehungslehre des Descartes. Bd. 54 der Berner Studien zur Philosophie und ihrer Geschichte. Herausgegeben von

naturwissenschaftlicher Aufgaben mitarbeiten. Die neuere Philosophie zeigte sich von dem Bestreben beseelt, mit allen hergebrachten Anschauungen zu brechen und ihre Probleme vom Standpunkt der Voraussetzungslosigkeit in Angriff zu nehmen. Dies Bestreben erwies sich auch für das naturwissenschaftliche Gebiet als überaus fruchtbringend. Von nachhaltigem Einfluß auf das letztere ist insbesondere der englische Philosoph John Locke (1632—1704) gewesen, dessen gründliche Untersuchungen über das Erkenntnisvermögen den modernen Realismus ins Leben gerufen haben.

Es ist bemerkenswert, eine welch hohe Wertschätzung die Mathematik in ihrer Anwendung auf die Naturwissenschaften erfuhr. Mathematik und mathematische Physik waren im Verein mit der den Scholastikern abgerungenen Philosophie zum Inbegriff aller Wissenschaften, ja sozusagen zu einem neuen Evangelium geworden. Sie wurden sogar zu einem Bestandteil der höfischen Bildung. Vornehme Frauen umgaben sich mit Philosophen und Mathematikern anstatt wie früher mit Dichtern und Sängern. Wie im Zeitalter der Renaissance die Begeisterung für die Antike, so galt während des 17. Jahrhunderts eine nicht geringere Begeisterung für die exakten Wissenschaften und die ihr geistesverwandte neuere Philosophie als ein Ersatz für das religiöse Leben der vergangenen Jahrhunderte. Eine solche Strömung zeitigte als erfreulichste Erscheinung die Gründung der großen nordeuropäischen Akademien.

Nach dem Vorbilde der Accademia del Cimento entstanden nämlich auch in den nördlichen Ländern Europas gelehrte Gesellschaften, welche, gefördert durch reiche Mittel sowie durch die Gunst der Monarchen, für die weitere Entwicklung von großer Bedeutung wurden. Den wesentlichen Vorteil derartiger Vereinigungen hat später Laplace mit folgenden Worten gekennzeichnet: „Während der einzelne Gelehrte sich leicht dem Dogmatisieren hingibt, führt in einer gelehrten Gesellschaft der Zusammenprall dogmatischer Ansichten sehr bald zu ihrer Zerstörung. Der Wunsch, sich gegenseitig zu überzeugen, ruft ferner unter den Mitgliedern die Übereinkunft hervor, nichts anderes, als die Ergebnisse der Beobachtung und Rechnung anzunehmen [1]“.

Ludwig Stein. Bern, Buchdruckerei Scheitlin, Spring & Co., 1907. 51 S. Preis Mk. 1. —.

[1]) Laplace, Précis de l'histoire de l'astronomie. Paris 1821. p. 99.

In der Pflege dieses Geistes zeichneten sich vor allem die von Ludwig XIV. im Jahre 1666 gegründete Pariser Akademie, sowie die um dieselbe Zeit entstandene Royal Society [1]) in London aus. Und während des 18. Jahrhunderts, besonders im Fridericianischen Zeitalter, erlangte die durch Leibniz ins Leben gerufene Preußische Akademie der Wissenschaften eine europäische Bedeutung.

Die Geschichte dieser Akademien zeigt uns mehr als der Lebens- und Entwicklungsgang des einzelnen Forschers die Wissenschaft in ihrer Abhängigkeit von dem gesamten Kulturzustande und der politischen Gestaltung Europas. Wir wollen daher bei dieser Erscheinung, welche uns die neuere Geschichte der Wissenschaften bietet, noch etwas verweilen.

In der Zeit vor der Begründung der großen Akademien erwarb sich der Jesuit Mersenne (1588—1648) dadurch ein besonderes Verdienst, daß er durch eine umfangreiche Korrespondenz den Austausch an Erfahrungen und Gedanken zwischen den einzelnen Gelehrten besorgte. Mersennes Briefwechsel, der ein reiches Material für die Geschichte der Wissenschaften darstellt, wird in der Nationalbibliothek zu Paris aufbewahrt [2]). Die Royal-Society wurde von einer Anzahl englischer Forscher im Jahre 1645 ins Leben gerufen, um, wie die Stifter sagten, in der Unterhaltung über naturwissenschaftliche Gegenstände Trost über das Elend des Landes zu suchen. Die Geschichte der Royal-Society ist ein wichtiges Stück der Geschichte der Wissenschaften überhaupt. Der Gedanke, ein von jedem Nebenzwecke unabhängiges wissenschaftliches Institut zu gründen und es mit allen Mitteln zu versehen, ging in England von Francis Bacon aus. Er hat diesen Gedanken in seiner neuen Atlantis geäußert und sein Ideal als das Haus Salomos bezeichnet. Auch der König wurde für diesen Plan gewonnen; er sicherte der Vereinigung, zu deren Begründern Boyle und Wren zählten, seinen besonderen Schutz zu und verlieh ihr Korporationsrechte, sowie den Titel einer königlichen Gesellschaft [3]). Das Ziel dieser Vereinigung war zwar, das von Bacon gewünschte System der Wissenschaften zu errichten. Man erkannte aber,

---

[1]) Die Royal Society veröffentlichte ihre Arbeiten seit dem Jahre 1665 unter dem Titel Philosophical Transactions.

[2]) Siehe auch P. Tannery, Les sociétés savantes et l'histoire des sciences. Paris, 1906.

[3]) Weld, History of the Royal-Society und von Ranke, Englische Geschichte V, 165. Die Verleihung der Korporationsrechte erfolgte am 15. Juli 1662.

daß dazu zunächt eine sichere Grundlage durch die rein empirische Erforschung der Tatsachen ohne Rücksicht auf irgend welche Theorien geschaffen werden müsse. Man war also in den für die Naturwissenschaften interessierten Kreisen Englands von demselben Geiste ergriffen, welcher die Mitglieder der Accademia del Cimento beseelte und so schöne Erfolge zeitigte.

Das Hauptgewicht wurde nicht auf Vorträge, sondern auf Versuche und Demonstrationen gelegt, welche die Entdecker neuer Gesetze und Tatsachen im Beisein von Mitgliedern der Akademie zu wiederholen hatten. Unter diesen Mitgliedern waltete zunächst das medizinische Element vor. Daher kam es, daß man sich in den ersten Jahren besonders mit der Nachprüfung der Harveyschen Lehre vom Blutkreislauf befaßte und manche neue Stütze für diese Lehre entdeckte. Boyle stellte im Schoße der Royal-Society seine Versuche über die Atmung an. Andere Forscher nahmen Zergliederungen von Organismen vor. Kurz, dem unmittelbaren Zeugnis der Sinne wurde eine entscheidende Bedeutung eingeräumt und manche irrige Meinung, ja mancher Aberglauben dadurch beseitigt. Die Gesellschaft beschränkte sich indessen nicht auf den Verkehr der Mitglieder unter sich, sie trat auch mit bedeutenden auswärtigen Gelehrten in Verbindung. Die umfangreiche Korrespondenz, die dazu erforderlich war, leitete in den ersten Jahren ein Deutscher namens Oldenburg, der die Stelle eines Sekretärs der Akademie bekleidete. Männer wie Leeuwenhoeck und Malpighi fühlten sich bewogen, die ersten Mitteilungen über ihre Entdeckungen an die Royal-Society zu richten. Letztere war indessen nicht nur die Empfangende, sondern sie unterstützte wissenschaftliche Unternehmungen, auch wenn sie von Ausländern ausgingen, in uneigennütziger Weise. So ließ sie Malpighis große Abhandlung über den Seidenschmetterling auf ihre Kosten drucken und mit Kupfertafeln ausstatten.

Die Veröffentlichungen der Royal-Society führten die Bezeichnung Philisophical Transactions[1]). Sie erscheinen seit dem Jahre 1664 und bilden durch ihre Berichte und Abhandlungen die wichtigste Quelle für die Entwicklung, welche die Wissenschaften im Verlauf der letzten Jahrhunderte nahmen.

Seit ihrer Begründung stand für die Royal Society die Astronomie im Mittelpunkte des Interesses. Letzteres wurde besonders

[1]) Zeitweilig führten sie den Titel Philosophical Collection. Die Gesellschaft selbst übernahm die Herausgabe erst vom 47. Bande (1753) ab.

durch die lebhafte Anteilnahme genährt, welche Karl II. für diese Wissenschaft ihrer nautischen Anwendung wegen empfand. Auf das Zusammenwirken des Königs und der Gesellschaft, welcher auch der königliche Astronom angehörte, ist die Gründung der Sternwarte in Greenwich zurückzuführen. Unter den übrigen wissenschaftlichen Aufgaben, mit denen man sich um die Mitte des 17. Jahrhunderts beschäftigte, standen die Probleme der Mechanik, der Ausbau der Lehre von der Bewegung zu einem zusammenhängenden, auf wenige Axiome fest begründeten System, obenan. Dem Verdienste der Royal Society, das vor allem darin bestand, die wissenschaftlichen Aufgaben ihrer Zeit zu erkennen und deren Lösung stets wieder in Anregung zu bringen, gesellte sich das besondere Glück zu, daß in ihrem Schoße der Genius erstand, der diese Fragen einer umfassenden, ein Weltsystem enthaltenden Lösung entgegenführte. Dieses Genie, das bedeutendste Mitglied der Royal Society, war Newton. In ihm finden nämlich die beiden Hauptstämme der neueren Naturwissenschaft, die Astronomie in der Gestalt, die Kepler ihr gegeben, und die Mechanik, wie sie aus dem Haupte Galileis hervorging, ihren Zusammenschluß und ihre Fortentwicklung.

Bevor wir uns mit dem Lebensgange und den Taten Newtons befassen, wollen wir einen Blick auf Deutschland werfen, das während des 17. Jahrhunderts in Leibniz einen dem englischen Forscher an die Seite zu stellenden, ihn an Vielseitigkeit übertreffenden Führer besaß, in welchem die aus der Renaissance, der Reformation und der exakten Wissenschaft hervorquellenden Kräfte, wie in keinem anderen, in die Erscheinung traten. Daneben ist Jungius zu nennen, in dem sich während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts das Streben nach einer Erneuerung der Wissenschaften verkörperte. Auch in dem Bemühen, die der freien Forschung sich widmenden Kräfte zu gemeinsamer Tätigkeit anzuspornen, müssen wir Jungius als einen Vorläufer von Leibniz bezeichnen.

Joachim Jungius wurde im Jahre 1587 in Lübeck geboren. Er widmete sich dem Studium der Medizin und hielt sich dann einige Jahre in Italien auf, wo er mit den botanischen Lehren Caesalpins bekannt und mit dem Geiste der in Italien aufblühenden neueren Naturforschung erfüllt wurde. Nach Deutschland zurückgekehrt, nahm er dort den Kampf gegen die Scholastik auf und suchte, gleichgesinnte Männer um sich zu schaaren. Von diesem Bestreben geleitet, gründete Jungius 1622

in Rostock die erste deutsche gelehrte Gesellschaft, welche die Pflege der Mathematik und die Erforschung der Natur als ihre wichtigste Aufgabe bezeichnete. Ihr Zweck sollte darin bestehen, „die Wahrheit aus der Vernunft und der Erfahrung zu erforschen, die Wissenschaften von der Sophistik zu befreien und durch Erfindungen zu vermehren“. Von den Erfolgen, welche Jungius selbst in der gewollten Richtung aufzuweisen hatte, wird an anderer Stelle die Rede sein[1]).

Der Gedanke, den Jungius, wenn auch nur in recht bescheidenem Maße verwirklichte, lebte in Leibniz wieder auf, als er während seines mehrjährigen Aufenthaltes in Paris den außerordentlichen Nutzen einer großen, vom Staate in freigebigster Weise geförderten Vereinigung gelehrter Forscher kennen gelernt hatte. Leibniz bot seinen ganzen Eifer und seine Beredsamkeit auf, um eine ähnliche Einrichtung für Deutschland, eine kaiserliche Akademie, ins Leben zu rufen.

Dies geschah in seiner von mehreren Entwürfen begleiteten Consultatio vom Jahre 1676[2]). Die Grundsätze, welche Leibniz darin entwickelt, sind in Kürze die folgenden. Alle Kräfte müssen sich vereinigen, um in die Natur tiefer einzudringen. Zunächst sind deshalb die einfacheren gelösten und die schwierigeren ungelösten Probleme übersichtlich zusammenzustellen, um der Forschung Ziel und Richtung zu geben. Die von einer solchen Neubelebung der Naturforschung zu erwartenden Ergebnisse sind der Allgemeinheit zugänglich zu machen, damit sie auch für die Bildung und für das Leben Früchte zeitigen können. Deshalb solle sich die Akademie in ihren Veröffentlichungen der deutschen Sprache bedienen. Scharf und zutreffend urteilt bei dieser Gelegenheit schon Leibniz über den Wert der einseitig klassischen Bildung und die übertriebene Wertschätzung der grammatisch-philosophischen Schulung, wenn er sagt: „Wir nötigen unsere Jugend zuerst dazu, die Herkulesarbeit der Bezwingung verschiedener Sprachen zu leisten, wodurch oft die Schärfe des Geistes

[1]) Jungius wirkte eine Zeitlang als Rektor des Johanneums in Hamburg. Er starb nach einem vielbewegten Leben 1657. Siehe auch Guhrauer, Joachim Jungius und sein Zeitalter. Tübingen 1850.

[2]) Der vollständige Titel lautet in der Übersetzung: Vorschlag, die Naturforschung ihres Nutzens wegen zu fördern und zu diesem Zwecke eine Deutsche Gesellschaft zu gründen, deren Aufgabe es sein würde die nutzbringenden Künste und Wissenschaften in unserer Sprache zu beschreiben und den Ruhm des Vaterlandes zu mehren.

abgestumpft wird, und verurteilen alle, welche die Kenntnis des Lateinischen entbehren, zur Unwissenheit". Die Befürchtung, daß durch das Aufgeben der alten Sprachen als allgemeines Bildungsmittel das altsprachliche Studium in Verfall kommen werde, weist Leibniz mit vollem Recht zurück. Niemals werde der Theologe das Griechische oder der Jurist das Lateinische entbehren können, noch der Historiker sich den Zugang zu den Quellen versperren lassen.

Die Anregungen, welche die Consultatio aussprach, blieben zunächst ergebnislos. Leibniz wurde durch diesen Mißerfolg nach seiner Rückkehr aus Paris recht deutlich daran erinnert, daß es wohl ein Frankreich, aber kein Deutschland gab. Er gab seinen Plan, an dessen Verwirklichung er die Hoffnung knüpfte, daß die deutsche Wissenschaft bald die der anderen Nationen überflügeln werde, jedoch nicht auf. Was sich nicht für das Deutsche Reich ins Leben rufen ließ, war vielleicht in einem der Einzelstaaten, welche dieses Reich in einem lockeren Gefüge zusammensetzten, möglich. Und so richtete er denn in dieser, ihm wie keine andere am Herzen liegenden Sache seine Aufmerksamkeit auf den mächtigsten unter den deutschen Einzelstaaten, auf das emporstrebende Brandenburg-Preußen. Ein äußerer Umstand kam Leibniz zu Hilfe. Der Kurfürst Friedrich III. von Brandenburg vermählte sich mit der hannoverschen Prinzessin Sophie Charlotte, an welcher der nach seiner Rückkehr aus Paris in hannoverschen Diensten stehende Leibniz eine begeisterte Schülerin gefunden hatte. Die Beziehungen zwischen der neuen Kurfürstin und ihrem früheren Lehrer fanden in einem regen Briefwechsel ihre Fortsetzung und der wichtigste Gegenstand dieses Briefwechsels war der alte Leibniz'sche Plan, in Deutschland, und zwar jetzt in Berlin, eine der französischen Akademie der Wissenschaften ebenbürtige Schöpfung ins Leben zu rufen. Leibniz wies besonders darauf hin, daß Preußen auf dem Gebiet der praktischen Künste Kraft gewinnen müsse. Denn bei dem Kampf und Wettbewerb der Völker werde die zivilisierteste und gewerbreichste Nation den Sieg gewinnen müssen. Die Akademie sollte eines der Mittel sein, dem protestantischen Deutschland unter Preußens Führung durch die Anwendung der Wissenschaften auf Landwirtschaft und Gewerbe einen inneren, friedlichen Machtzuwachs zu verleihen.

Nach langem Harren und Mühen drang Leibniz endlich in Berlin mit seinen Vorschlägen durch. Am 19. März des Jahres

1700 befahl der Kurfürst, eine „Académie des Sciences und ein Observatorium in Berlin zu etablieren." Ein Vierteljahrhundert hatte es also gewährt, bis der erste, von Leibniz in seiner Consultatio entwickelte Vorschlag in die Tat umgesetzt wurde. Leibniz wurde nach Berlin gerufen und an die Spitze der Akademie gestellt. Im übrigen entsprachen die zur Verfügung gestellten Mittel zunächst in keiner Weise der Größe des von Leibniz entwickelten Planes. Der ganzen Sinnesart Friedrich Wilhelm I. entsprach es nicht, gelehrte Einrichtungen zu fördern. Dieser König, dem Preußen im übrigen so vieles verdankt, verkannte, ja verhöhnte sogar die Akademie und ihre Einrichtungen. Die einzige Wissenschaft, die er respektierte und förderte, war die Chemie, die während seiner Regierungszeit in Preußen auch eine Anzahl hervorragender Vertreter, wie Stahl und Pott, besaß.

Mit einem Schlage änderten sich die unter Friedrich Wilhelm I. bestehenden Verhältnisse, als sein großer Sohn die Regierung übernahm und mit ihm „die Wissenschaften und die Künste auf den Thron stiegen". Schon als Kronprinz hatte Friedrich II. den Plan gefaßt, die Akademie der Wissenschaften zu neuem Leben zu erwecken. Er hatte sogar in Europa nach geeigneten Gelehrten Ausschau gehalten, die er nach seiner Thronbesteigung durch die Akademie an Preußen zu fesseln wünschte. Seine Aufmerksamkeit richtetete sich zunächst auf Maupertuis und Wolf. Maupertuis galt seinen Zeitgenossen als einer der hervorragendsten Vertreter der Astronomie und mathematischen Physik. Wolf dagegen genoß als Philosoph das größte Ansehen. Friedrich glaubte, daß diese beiden Männer berufen seien, Newton und Leibniz zu ersetzen. Die Geschichte hat sie jedoch weit geringer einschätzen müssen. Wolf nahm die Berufung nach Berlin nicht an. Er hatte in Preußen schlechte Erfahrungen gemacht. Während er in Halle die Professur der Philosophie bekleidete, hatten seine theologischen Kollegen ihn der Irreligiosität beschuldigt und damit erzielt, daß Wolf bei Strafe des Stranges binnen 48 Stunden das Land verlassen mußte. Wolfs Verdienst um die Philosophie beschränkte sich im wesentlichen darauf, daß er die Leibnizschen Lehren fortsetzte und für deren Verbreitung sorgte. Dabei bediente er sich — und das ist ein bahnbrechendes Verdienst gewesen — der von Leibniz gegebenen Anregung gemäß der deutschen Sprache.

Maupertuis dagegen folgte dem Rufe des Königs und wurde 1742 zum Direktor der Akademie ernannt. Ein Jahr vorher war auch der große Mathematiker Euler für sie gewonnen worden.

Die ersten Jahrzehnte der Fridericianischen Zeit waren für die Preußische Akademie der Wissenschaften die bedeutendsten. Maupertuis verstand es, die hervorragendsten Gelehrten Europas als wirkliche oder auswärtige Mitglieder in ihr zu vereinigen. Sie wurde, und das ist ihr schönster Ruhmestitel, eine Freistätte für die vom Fanatismus oder Absolutismus aus anderen Ländern vertriebenen Gelehrten und eine Burg gegenüber der Intoleranz der Kirche[1]. Was ihre Mitglieder, unter denen neben den schon erwähnten noch Lagrange, Lambert und Marggraf genannt seien, für die Wissenschaft geleistet haben, bleibt späteren Abschnitten vorbehalten.

Unter den Mitteln, deren sich die Akademien zur Erreichung ihrer Zwecke bedienten, standen die Preisaufgaben obenan. An ihrer Lösung beteiligten sich in regem Wetteifer die besten Kräfte. Sie waren gleichsam, wie der Historiograph der Preußischen Akademie der Wissenschaften sich ausdrückt, die Hebel, durch welche Jahr um Jahr die Wissenschaften um eine Stufe gehoben wurden. Der Fragestellung, in welcher der Geist und das Geschick der betreffenden Akademie zum Ausdruck kam, blickte man fast mit der gleichen Spannung wie der Verkündigung des Preises entgegen.

---

[1] Harnak, Geschichte der preußischen Akademie der Wissenschaften, Berlin 1901. S. 243.

II. Newton.

Nachdem wir in aller Kürze den allgemein geschichtlichen, kulturhistorischen und naturphilosophischen Hintergrund gezeichnet haben, von dem sich die gewaltige Forschergestalt Newtons abhebt, gehen wir zur Schilderung seiner Lebensarbeit und seiner Persönlichkeit über.

Isaak Newton[1]) wurde am 4. Januar 1643, also genau ein Jahr, nachdem Galilei die Augen geschlossen und hundert Jahre nach dem Tode des Koppernikus, zu Woolsthorpe, einem in der Grafschaft Lincolnshire gelegenen Dorfe, geboren. Sein Vater, welcher dort Landwirtschaft betrieb, war einige Monate vor der Geburt des Sohnes gestorben. Die Mutter hegte den Wunsch, daß letzterer das kleine Besitztum, das sie ihr eigen nannte, später übernehmen möchte. Newton wurde auf die Schule zu Grantham, einem wenige Meilen von Woolsthorpe entfernten Städtchen geschickt. Seine Lernbegierde war zunächst gering. Mit besonderem Eifer beschäftigte er sich mit der Herstellung mechanischer Vorrichtungen. So entstanden Windmühlen, Sonnen- und Wasseruhren usw. Auch in anderer Hinsicht zeigte sich die Eigenart Newtons, der an den Spielen seiner Jugendgefährten nur geringen Anteil nahm.

Als der Knabe mit 14 Jahren auf das kleine Gut der Mutter zurückkehrte, dessen Bewirtschaftung er übernehmen sollte, zeigte es sich, daß er für die Geschäfte des praktischen Lebens nur geringes Geschick besaß. Auf Anraten und unter Beihilfe seines Onkels, der ihn hinter einer Hecke, mit dem Lesen eines geo-

---

[1]) Eine ausführliche Biographie Newtons verfaßte Brewster: Life of Newton, London 1831. Übersetzt von B. M. Goldberg. Leipzig 1833. Neu bearbeitet erschien dies Werk unter dem Titel „Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton, Edinburg. 2 Bde., 1855. 2. Aufl. 1860. Siehe auch Snell, Newton und die mechanische Naturwissenschaft. Dresden, Leipzig, 1843.

metrischen Buches beschäftigt, gefunden hatte, wurde Newton deshalb nach Grantham zurückgeschickt. Mit 17 Jahren bezog er die Universität Cambridge. Hier studierte er zunächst die mathematischen Werke der Alten, insbesondere die Geometrie Euklids. Darauf fesselten ihn die Arbeiten der neueren Schriftsteller. Er las die mathematischen Schriften des Descartes, die Arithmetik von Wallis[1]), welche die Keime der später von Newton und Leibniz erfundenen Infinitesimalrechnung enthält, und die Dioptrik Keplers. An alle Arbeiten anderer trat er jedoch mit einer Selbständigkeit des Denkens heran, wie sie nur hervorragende Geister auszeichnet. Eigene mathematische Untersuchungen leiteten ihn schon während seiner Studienzeit zur Auffindung des allgemeinen binomischen Lehrsatzes. Auch nahm er, bereits bevor er in Cambridge als letzten akademischen Grad die Magisterwürde erlangte, das Gravitationsproblem in Angriff. Ihn leitete dabei der fruchtbare Gedanke, die Identität der Schwere und der vom Erdzentrum auf den Mond wirkenden Kraft nachzuweisen. Indes gelangte er damals noch nicht zum Ziele, weil ihm die, seiner Rechnung zugrunde zu legenden Abmessungen der Erde nicht hinreichend genau bekannt waren. Die später zu besprechende Gradmessung Picards verschaffte endlich seiner Ableitung die richtigen Unterlagen, so daß erst 16 Jahre später jener Gedanke als zutreffend bewiesen werden konnte.

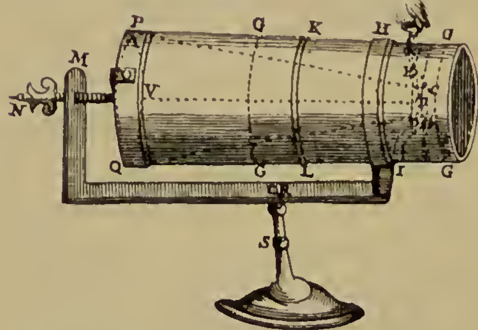


Abb. 64. Ansicht von Newtons Spiegelteleskop. (Aus den Philos. Transactions v. 1672.)

In den Beginn der wissenschaftlichen Tätigkeit Newtons fällt auch seine erste Beschäftigung mit der Optik. Wie auf Galilei, so wurde auch auf Newton die Mitwelt aufmerksam infolge seiner Verdienste um die Erfindung des Fernrohrs. Man hatte bemerkt, daß zwei Eigenschaften der Glaslinsen der Vervollkommnung dieses Instrumentes im Wege standen. Parallel einfallende

1) Wallis, Arithmetica infinitorum sive nova methodus inquirendi in curvilineorum quadraturam. 1655. Wallis beschäftigt sich darin wie Cavalieri in seinen „Indivisibilien" vorzugsweise mit Quadraturen und Kubaturen, verfuhr anknüpfend an Descartes aber mehr rechnerisch, während Cavalieri seine Ableitungen so geometrisch als irgend möglich zu gestalten trachtete (siehe auch Cantors Geschichte der Mathematik II, 822).

Strahlen wurden nämlich nicht genau in einem Punkte vereinigt; ferner machten sich an den Bildern farbige Ränder bemerkbar. Beide Erscheinungen sind unter dem Namen der sphärischen und der chromatischen Abweichung bekannt. Da die letztere an den durch Hohlspiegel erzeugten Bildern nicht auftritt, so brachte Newton die von mehreren Seiten[1]) geäußerte Idee eines Spiegelteleskops zur Ausführung. Das durch einen sphärischen Hohlspiegel



Abb. 65. Newtons schematische Zeichnung seines Spiegelteleskops.

(a q s b) erzeugte Bild wurde von einem schräg gestellten Planspiegel (f g) seitwärts reflektiert und durch eine in der Seitenwand angebrachte Linse (h) betrachtet (siehe Abb. 67).

Das erste, im Jahre 1668 verfertigte Spiegelteleskop war nur 5 Zoll lang. Man war jedoch imstande, damit die Monde des Jupiter, sowie die Lichtgestalten der Venus zu erkennen. Einige Jahre später[2]) sandte Newton ein zweites, größeres Instrument an die Royal Society. Es fand deren Beifall und erregte auch die Bewunderung des Hofes. Dieses Instrument wird noch heute in der Bibliothek jener Gesellschaft aufbewahrt. Es trägt die Inschrift:

---

[1]) Zucchi 1616. Siehe Nicolai Zucchii Optica philosophica. Leyden 1652. Die bezügliche Stelle wird von Wilde in seiner Geschichte der Optik, Bd. I. Seite 308 angegeben. Zucchi machte auch, wie er an dieser Stelle mitteilt, den entsprechenden Fundamentalversuch, indem er das Licht der Gegenstände mit einem Hohlspiegel auffing und gleichzeitig eine Konkavlinse in passender Entfernung ans Auge brachte. Er wird deshalb von Wilde schon als der Erfinder des Spiegelteleskops bezeichnet (Wilde I, 308). Gregory beschränkte sich in seiner Optica promota vom Jahre 1663 (Seite 92 u. f.) auf den bloßen Vorschlag, das durch zwei Spiegel erzeugte Bild durch eine Linse zu betrachten. Die Ausführung dieses Gregoryschen Teleskops erfolgte erst ein Jahrzehnt später (1774) durch Hooke. Siehe die schematische Zeichnung in Wüllners Lehrbuch der Experimentalphysik II, 344.

[2]) 1672.

Invented by Sir Isaac Newton
and made with bis own hands.
1671.

Das Verdienst des genialen Erfinders, der seit dem Jahre 1662 die Professur der Mathematik in Cambridge bekleidete, wurde dadurch anerkannt, daß man ihn in die Royal Society aufnahm, deren Vorsitz er in späteren Jahren führte.

Eine kurze Erwähnung verdient auch der Spiegelsextant. Sein Erfinder ist John Hadley. Nach Maskelyne[1]) hat sich schon Newton mit der Idee befaßt, für die Beobachtung von Monddistanzen einen Spiegeloktanten zu konstruieren. Die Beschreibung eines brauchbaren Spiegelmeßapparats, der alle älteren, bisher von den Seefahrern benutzten Winkelmeßinstrumente verdrängte, veröffentlichte Hadley im Jahre 1731 [2]). Seine Abbildung

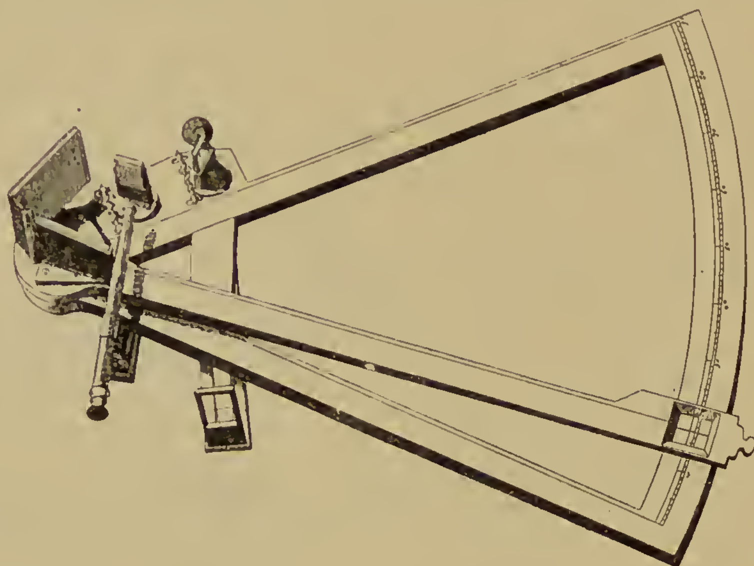


Abb. 66. Hadleys Spiegeloktant.

stellt einen Oktanten mit einem senkrecht zur Mittellinie gerichteten Fernrohr dar. Vor dem Fernrohr befindet sich der feste und links davon der auf einer beweglichen Alhidade angebrachte Spiegel. Vor diesem kann ein Blendglas (ganz links in der Abbildung) gedreht werden. An Stelle des in Grade und Minuten geteilten Oktanten setzte man den Sextanten, von dem das ganze Instrument seinen Namen erhielt.

1) Philos. Transact. 1742. S. 155.
2) Philos. Transact. 1731. S. 147 u. f.

Von nicht geringerem Belang als jene, in erster Linie der Praxis dienenden, Erfolge war die Förderung, welche die theoretische Optik durch Newton erfuhr. Mit der Brechung des Lichtes hatten sich schon die Alten, sowie unter den Neueren besonders Kepler und Snellius befaßt. Eine Vertiefung von großer Tragweite erfuhr dieses Problem, als Newton sein Augenmerk auf die bis dahin kaum weiter verfolgte Erscheinung der Farbenzerstreuung richtete. Sämtliche grundlegenden Versuche, welche dieses Gebiet betreffen und die ihn seit dem Jahre 1666 beschäftigten, rühren von ihm her. Eine zusammenfassende Darstellung gab Newton in seinen drei Büchern über die Optik, mit deren Inhalt wir uns jetzt befassen wollen[1]. Newton beginnt das erste Buch mit der Versicherung, daß er die Eigenschaften des Lichtes nicht durch Hypothesen erklären, sondern daß er sie nur aufdecken und durch Versuche und Rechnung klarstellen wolle. Diesem Vorsatz ist er nicht immer treu geblieben, sondern durch das ganze Werk zieht sich die Auffassung, daß wir es in dem Licht mit einer feinen, aus gesonderten Teilchen bestehenden Materie zu tun haben, welche von dem leuchtenden Körper ausgestoßen wird. Newtons Ansicht ist unter dem Namen der Emanations- oder Emissionstheorie bekannt geworden und hat die Wissenschaft bis in das 19. Jahrhundert hinein beherrscht.

Den Ausgangspunkt der Untersuchung bildete der Nachweis, daß Licht verschiedener Farbe einen verschiedenen Grad der Brechbarkeit besitzt. In einem dunklen Zimmer brachte Newton hinter einer kleinen Öffnung ein Glasprisma an. Letzteres lenkte den Lichtstrahl, der durch die Öffnung eindrang, ab und rief auf der gegenüberliegenden Wand des Zimmers ein Spektrum hervor. Die Achse des Prismas war senkrecht zu den einfallenden Lichtstrahlen gerichtet. Als Newton das Prisma um diese Achse drehte, sah er das Spektrum zuerst hinab- und dann wieder hinaufsteigen. Zwischen der Ab- und Aufwärtsbewegung, in dem Augenblicke, als das Bild still zu stehen schien, also das Minimum der Ablenkung stattfand, stellte er das Prisma fest. Nun ließ er das gebrochene Licht senkrecht auf einen Bogen weißen Papieres fallen,

[1] Optics or a treatise of the reflections, refractions, inflections and coulours of light. London 1704. — Newtons Optik wurde als 96. und 97. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften übersetzt und herausgegeben von W. Abendroth. W. Engelmann, Leipzig. 1898. — Es ist dies die erste deutsche Übersetzung. Neben vier englischen Auflagen gibt es sechs lateinische und drei französische Ausgaben.

der auf der gegenüberliegenden Wand des Zimmers angebracht war, und beobachtete die Gestalt und die Größe des dort entstandenen Spektrums (Abb. 67). Letzteres war rot in seinem am

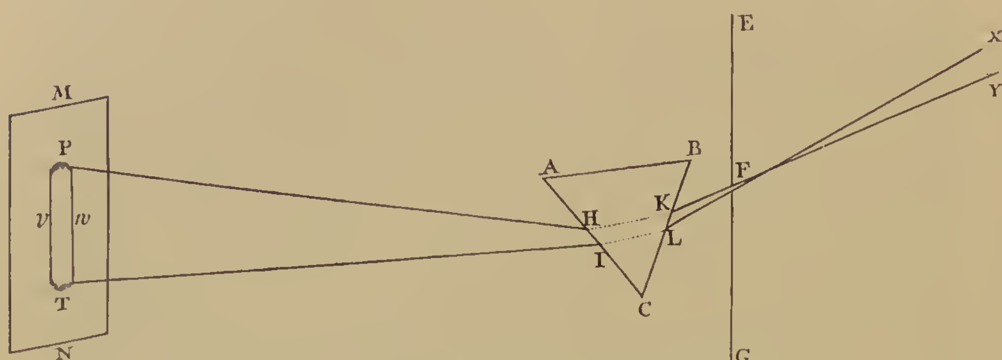


Abb. 67. Newton untersucht das Spektrum[1]).

wenigsten gebrochenen Ende T, violett in dem am stärksten abgelenkten Ende P. Darauf stellte Newton in den Weg des Lichtstrahls zwei Bretter DE und de mit Öffnungen bei G und g. Durch G. ging nur ein Teil des gebrochenen Lichtes, während der Rest aufgefangen wurde. Zwölf Fuß von dem ersten Brette entfernt,



Abb. 68. Newtons Nachweis, daß die Spektralfarben verschieden brechbar sind[2]).

befestigte er das zweite Brett de (Abb. 68) so, daß wieder nur ein Teil des gebrochenen Lichtes, welches durch G gelangt war, das Loch g in jenem zweiten Brette passieren konnte. Unmittelbar hinter dem zweiten Brette de brachte Newton dann ein anderes Prisma abc an, welches das die Öffnung g passierende Licht ablenken sollte. Indem er nun das erste Prisma ABC langsam um

---

[1]) Newtons Optik. I. Tafel III. Abb. 13.

[2]) Newtons Optik. I. Tafel IV. Abb. 18.

seine Achse hin- und herdrehte, bewirkte er, daß das Spektrum sich auf- und abbewegte, so daß alle Teile desselben nacheinander auf das Prisma abc fallen mußten. Gleichzeitig merkte er die Stellen auf der gegenüberliegenden Wand NM an, auf welche die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch das zweite Prisma abc gelangten. Aus der verschiedenen Höhe dieser Stellen fand er, daß die Strahlen stärkster Brechbarkeit, welche den blauen Teil des Spektrums bilden, stärker gebrochen werden, als das rote Licht. Trat nämlich der untere rote Teil des Spektrums durch die Öffnung g, so gelangte dieses Licht zu einer tieferen Stelle M der Wand. Wurde dagegen der obere blaue Teil des Spektrums durch dieselbe Öffnung g geworfen, so gelangte der betreffende Strahl zu der höheren Stelle N. Die dazwischen befindlichen Teile des Spektrums endlich fielen nach dem Passieren der Öffnung g zwischen M und N auf die Wand.

Diesem Versuch wurde von Newton eine solch entscheidende Bedeutung beigelegt, daß er ihn als Experimentum crucis, d. h. als einen am Kreuzwege entscheidenden Versuch, bezeichnet hat. Das Wort ist der bei Bacon üblichen, an Bildern so reichen Terminologie nachgebildet.

Durch Vereinigung sämtlicher Spektralfarben ließ sich das weiße Sonnenlicht in seiner vollen Ursprünglichkeit wieder herstellen. Newton zeigte dies durch folgenden in Abb. 69 erläuterten Versuch.

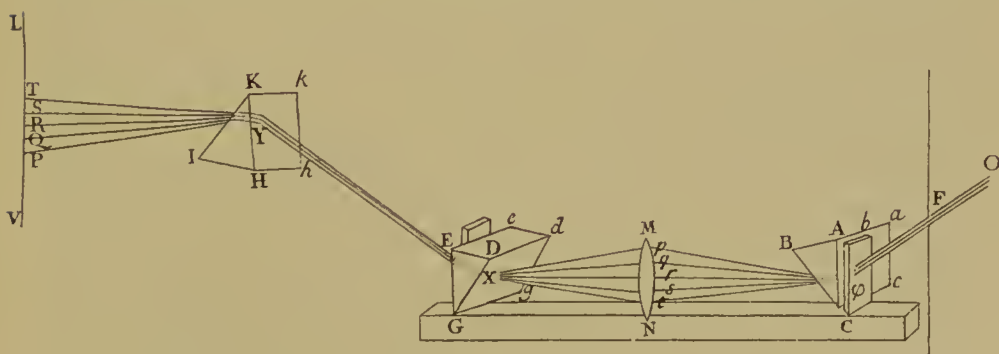


Abb. 69. Newton vereinigt die Spektralfarben zu weißem Licht[1]).

ABC abc stellte ein Prisma vor, welches das in ein dunkles Zimmer fallende Sonnenlicht so brach, daß es auf die Linse MN fiel und darauf bei pqrst die bekannten Spektralfarben erzeugte. Die divergierenden Strahlen gelangten dann vermöge der Brechung

[1]) Newtons Optik, II, Taf. IV. Abb. 16.

durch die Linse nach X und erzeugten dort durch Mischung sämtlicher Farben einen weißen Lichtstrahl.

Darauf wurde ein zweites Prisma D E G d e g parallel dem ersten in X aufgestellt, um das weiße Licht aufwärts in Y zu brechen. Der Brechungswinkel der Prismen und ihre Abstände von der Linse waren gleich, so daß die Strahlen, welche nach X konvergierten und ohne eine dort stattfindende Brechung sich daselbst schneiden und hierauf wieder divergieren mußten, durch das zweite Prisma parallel gemacht wurden. War letzteres der Fall, so setzten diese Strahlen wieder einen weißen Lichtstrahl zusammen; und man konnte sämtliche Versuche mit diesem Strahle X Y anstellen, die vorher im direkten Sonnenlicht gemacht waren. Durch Auffangen irgend einer Spektralfarbe p q r s t vor der Linse M N ließ sich zeigen, daß die durch Versuche mit dem Strahl X Y erzeugten Farben keine anderen waren als diejenigen, welche den Strahlen p q r s t, aus denen X Y zusammengesetzt wurde, entsprachen. Daraus war ersichtlich, daß die Farben nicht durch irgend eine, infolge der Brechung und der Reflexion bewirkte Veränderung des Lichtes sich erst bilden, sondern daß sie aus der Trennung und Zusammensetzung von Strahlen hervorgehen, von denen jeder ein gewisse Farbe besitzt.

Um die Ursache der Körperfarben zu erkunden, brachte Newton verschiedene Gegenstände in den Strahl X Y und fand, daß sie dort sämtlich in der Farbe erschienen, die sie bei Tageslicht besitzen. So zeigte z. B. Zinnober in dem Lichtstrahl X Y dieselbe Farbe wie im Tageslicht, und wenn man bei der Linse die grünen und die blauen Strahlen auffing, wurde seine rote Farbe noch voller und lebhafter. Beseitigte man aber diejenigen Lichtstrahlen, welche die rote Farbe hervorrufen, so erschien der Zinnober nicht mehr rot, sondern er war gelb oder grün oder von anderer Farbe, entsprechend den Strahlenarten, die auf ihn fielen. Setzte Newton Zinnober und Ultramarin nebeneinander dem homogenen roten Lichte aus, so erschienen beide rot. Zinnober zeigte jedoch ein helles, glänzendes, Ultramarin dagegen ein schwaches dunkles Rot. Im homogenen blauen Licht erschienen dagegen beide Stoffe blau. Diesmal erglänzte aber Ultramarin in einem kräftigen glänzenden Blau, während Zinnober nur eine schwache, dunkle blaue Farbe aufwies. Aus diesen Versuchen schloß Newton, daß die Farben daher rühren, daß die Körper je nach ihrer Art die einen oder die anderen Strahlenarten vorwiegend reflektieren. Die Veilchen reflektieren die brechbarsten Strahlen am meisten und daher haben

sie ihre Farbe. Und so ist es nach Newton bei den übrigen Körpern. Jeder wirft die Strahlen der ihm eigentümlichen Farbe in größerer Menge zurück als die anderen und hat seine Farbe dadurch, daß die ersteren in dem von ihm reflektierten Lichte überwiegen. Streng genommen sind also die Körper, wie Newton hervorhebt, nicht gefärbt, sondern sie besitzen eine gewisse Kraft, die Empfindung dieser oder jener Farbe zu erregen. Wie der Schall einer Glocke, sagt Newton, nichts anderes ist, als eine zitternde Bewegung des tönenden Körpers, die sich auf die Luft überträgt und unser Empfindungsorgan erregt, so sind auch „die Farben an den Objekten nichts weiter als ihre Fähigkeit diese oder jene Strahlenart zu reflektieren. Und in den Strahlen ist wiederum nichts anderes als die Fähigkeit, diese Bewegung bis in unser Empfindungsorgan zu verbreiten und in letzterem endlich entsteht die Empfindung dieser Bewegungen in Gestalt von Farben“.

Ohne Zweifel bedeutet die Farbentheorie Newtons einen der größten Fortschritte der Optik. Man muß sich vergegenwärtigen, daß die Lehre des Aristoteles, nach welcher die Farben aus einer Mischung von Weiß und Schwarz, von Licht und Finsternis hervorgehen, im 17. Jahrhundert noch in voller Geltung stand. Selbst Kepler wurde von dieser aristotelischen Auffassung noch beherrscht[1]) und de Dominis äußerte sich in seiner so hervorragenden optischen Schrift vom Jahre 1611, mische man dem Lichte etwas Dunkles hinzu, so daß jedoch nicht das ganze Licht verhindert oder ausgelöscht werde, so entständen die Farben[2]). Z. B. erscheine ein Feuer rot, weil der Rauch, den es mit sich führt, es verdunkle.

Nachdem die verschiedene Brechbarkeit der Strahlenarten nachgewiesen, mußte sich die Frage erheben, ob das ohne Rücksicht auf die Farbenlehre von Snellius nachgewiesene Gesetz, daß der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels in einem bestimmten Verhältnis steht, für jede einzelne Strahlengattung gültig ist. Es sei sehr glaublich, meinte Newton, daß es sich so verhalte, weil die Natur immer gleichförmige Gesetze beobachte. Aber ein experimenteller Nachweis[3]) war doch wünschens-

[1]) Opera omnia (ed. Frisch) II. 119 u. f.

[2]) De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride Tractatus Marci de Dominis, Venedig 1611.

[3]) Näheres siehe Newtons Optik (Ostwalds Klassiker Bd. 96 S. 50 u. f.) sowie Wilde, Geschichte der Optik. II. S. 44 u. f.

wert, und er wurde von Newton erbracht. Brechung und Farbenerzeugung hielt Newton auf Grund seiner Versuche für zwei stets miteinander verknüpfte Vorgänge. Daraus entsprang für ihn die Überzeugung, daß es kein Mittel gäbe, den Fehler der chromatischen Abweichung zu beseitigen.

Die Unvollkommenheit der Fernrohre wurde vor Newton ausschließlich der sphärischen Gestalt der Gläser zugeschrieben. Nach ihm entsteht aber der größte Fehler dadurch, daß die Strahlen verschiedener Brechbarkeit nicht nach einem Punkte konvergieren. Newtons Untersuchung ergab nämlich, daß für Strahlen, die von einem weit entfernten leuchtenden Punkte kommen, der Brennpunkt der brechbarsten Strahlen im Vergleich zu demjenigen, der am wenigsten brechbaren Strahlen ungefähr um so viel näher bei der Linse liegt als dem 28. Teil der mittleren Brennweite entspricht.

Trotzdem erhob sich in der Folge ein Wettkampf zwischen dem dioptrischen Fernrohr und dem Spiegelteleskop. Man suchte den Fehler dadurch zu verringern, daß man der Objektivlinse eine sehr mäßige Krümmung und dementsprechend eine bedeutende Brennweite gab. Das Fernrohr nahm infolgedessen immer größere Abmessungen an. Schließlich verzichtete man nach einem von Huygens herrührenden Vorschlage auf eine feste Verbindung der beiden Linsen. Es entstand das sogenannte Luftfernrohr, bei welchem die Objektivbrennweite auf 2 Meter gesteigert wurde. Auch der Reflektor erreichte später infolge der Bemühungen William Herschels die ansehnliche Länge von 40 Fuß[1]). Wie die durch Euler angebahnte Erfindung der achromatischen Linse dem Refraktor endgültig zum Siege verhalf und das Irrtümliche der Newtonschen Vorraussetzung aufdeckte, wird der Gegenstand späterer Betrachtungen sein.

Eine weitere Folge von Newtons Spektraluntersuchungen war seine Theorie vom Regenbogen, durch welche ein Jahrtausende altes Rätsel gelöst wurde. Aristoteles hatte dieses Phänomen aus der Spiegelung zu erklären gesucht, während es die arabischen Optiker auf die Brechung des Lichtes zurückführten. Nachdem dann Snellius das Refraktionsgesetz gefunden, vermochten Descartes

---

1) Der Spiegel hatte einen Durchmesser von 4 Fuß und wog 2000 Pfund. Herschel lieferte eine Beschreibung dieses Fernrohrs in den Philos. Transact. 1795, II, pag. 347. Das Teleskop des Earl of Rosse vom Jahre 1845 besaß sogar eine Länge von 16,6 und einen Spiegeldurchmesser von 1,82 m.

und de Dominis die Erscheinung des Regenbogens theoretisch und experimentell soweit zu analysieren, daß nur noch das Auftreten der Farben zu erklären blieb. Letzteres geschah durch Newton. Die seiner „Optik" entnommene Abb. 70 stellt den inneren und den äußeren Regenbogen, sowie den Gang der Lichtstrahlen durch Tropfen dar, die sich im roten und im violetten Teile befinden. Man erkennt, daß im inneren Bogen eine ein-

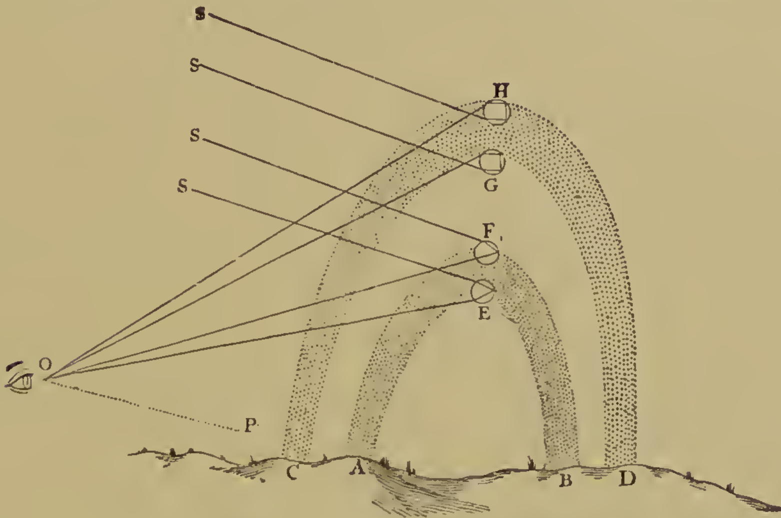


Abb. 70. Newton erklärt das Zustandekommen des Regenbogens[1]).

malige, im äußeren dagegen eine doppelte Reflexion an der Wand der Tropfen stattfindet. Dies hatte schon Descartes angenommen, um zu erklären, daß der äußere Bogen lichtschwächer ist. Newton zeigte nun, wie von dem Tröpfchen E, dessen Winkelabstand von dem gemeinschaftlichen, in der Verlängerung der Linie O P liegenden Mittelpunkt der beiden Bögen 40° 17′ beträgt, der violette Teil des Spektrums nach dem Auge des Beobachters gelangt. O P ist die Linie, welche die Sonne mit dem Auge des Beobachters verbindet. Der Tropfen F dagegen, dessen Abstand von dem Punkte, wo O P das Himmelsgewölbe schneidet, 42° 2′ beträgt, wird Strahlen geringerer Brechbarkeit zum Auge senden, wie aus der Abbildung schon ohne weiteres ersichtlich ist. Diejenige ringförmige Zone, in welcher sich der Tropfen F befindet, muß deshalb rot erscheinen. Im äußeren Bogen kehrt sich das Verhältnis um. Der Tropfen H sendet den stärker abgelenkten violetten Teil des Spektrums zum Auge, während das Rot von der inneren, durch den Tropfen G repräsentierten Zone erzeugt wird.

[1]) Ostwalds Klassiker. Bd. 96. S. 130.

Den experimentellen Nachweis lieferte Newton nach dem Vorgange von Descartes und de Dominis[1]), indem er eine mit Wasser gefüllte Glaskugel in die Sonne hing und das Auge hob und senkte, so daß der Winkel zwischen dem Sonnenstrahl und der die Glaskugel mit dem Auge verbindenden Linie die verschiedensten Werte durchlief.

Im Verlauf des 17. Jahrhunderts waren mehrere bisher unbekannte Phänomene in den Gesichtskreis der Physiker getreten. Bartholin hatte die Doppelbrechung am isländischen Kalkspat, Grimaldi die Beugung des Lichtes entdeckt, während Hooke sich zuerst mit den Farben dünner Blättchen beschäftigte. Dadurch war eine Fülle neuer Aufgaben auf dem Gebiete der Optik gegeben. Zwar blieb die theoretische Lösung dieser Aufgaben einem späteren Zeitalter vorbehalten; ihre experimentelle Erforschung indes hat Newton gleichfalls in erheblichem Maße gefördert.

Der italienische Mathematiker Grimaldi (1618—1663) hatte seine Beobachtungen über die Natur des Lichtes in einem Werke zusammengefaßt, das im Jahre 1665, zu jener Zeit, als Newton seine Untersuchungen begann, veröffentlicht wurde. In diesem Werke findet sich nicht nur die erste Beschreibung des durch ein Prisma erzeugten Sonnenspektrums[2]), es wird darin auch über merkwürdige Erscheinungen berichtet, welche dem Gesetz der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes zu widersprechen schienen und mit dem Namen der Diffraktion und der Interferenz belegt wurden. Die für die Theorie des Lichtes grundlegenden Versuche Grimaldis haben wir in einem früheren Abschnitt schon eingehender geschildert[3]).

Die ersten Anhänger einer die Allverbreitung eines außerordentlich elastischen Mediums voraussetzenden Wellentheorie waren außer Grimaldi, welcher die Wahrheit nur dunkel ahnte, Hooke und Huygens. Letzterer hat die Undulationstheorie, wie wir später sehen werden, besonders klar entwickelt[4]) und wird mit Recht als ihr eigentlicher Begründer bezeichnet. Manche

1) Jesuit, von 1566—1624 lebend. Er wurde von der Inquisition seiner freieren religiösen Auffassung wegen eingekerkert.

2) Grimaldi, Physico-Mathesis de lumine, coloribus et iride. Bologna 1665. S. 235 u. f.

3) Siehe Seite 81 u. f.

4) Huygens, Abhandlung über das Licht. Nr. 20 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften.

Äußerungen Newtons weisen darauf hin, daß er der Wellentheorie durchaus nicht jede Berechtigung absprach. Dennoch sah er sich veranlaßt, seine eigenen Erklärungen auf die Annahme zu stützen, daß das Licht ein Stoff sei, der von den leuchtenden Körpern ausgesandt wird. Während nämlich beide Lehren, die Undulationstheorie, sowie die von Newton begründete Emissionstheorie, die Erscheinungen der Reflexion und der Brechung zu deuten vermochten, war die erstere in der Fassung, welche Huygens ihr gegeben, noch nicht imstande, das Auftreten der Farben zu erklären.

Nach der Annahme Newtons gibt es Lichtteilchen verschiedener Größe. Trifft ein Strahl des weißen Lichtes, in welchem alle Größen vertreten sind, in schräger Richtung auf einen durchsichtigen Körper, so werden die kleinsten, das Violett ausmachenden Teilchen durch eine von den Partikeln des Körpers ausgehende Anziehung in höherem Grade aus ihrer Richtung abgelenkt als die gröberen, die rote Farbe bedingenden. Zwischen beiden Extremen finden alle Übergänge statt, und so entsteht nach Newton das zusammenhängende Farbenband des Spektrums. Um die Beugung und die gleich zu besprechenden Farben dünner Blättchen zu erklären, mußte Newton dem Lichtstoff wieder neue Eigenschaften beilegen, so daß seine Hypothese mit jedem hinzutretenden Erklärungsversuch verwickelter wurde, ein Umstand, der von vornherein nicht gerade zu ihren Gunsten sprach. Gestützt auf das große Ansehen ihres Urhebers hat sich die Emissionstheorie dennoch, obgleich von verschiedenen Seiten, insbesondere von Euler[1]), auf ihre Schwächen hingewiesen wurde, durch das ganze 18. Jahrhundert behauptet.

Ein weiteres Feld für optische Untersuchungen hatten Hookes Arbeiten über die Farben dünner Blättchen erschlossen. Robert Hooke wurde 1635 auf der Insel Wight geboren und starb im Jahre 1703 in London. Er war Mitglied der Royal Society und zeichnete sich durch eine Vielseitigkeit aus, die ihn leider von dem beharrlichen Verfolgen eines Grundgedankens abzog. An Hookes Bemerkungen über die Natur des Lichtes knüpfte später Huygens die ausführliche Darstellung der Undulationstheorie.

Hookes Untersuchungen, die zu denjenigen Newtons hinüberleiten, finden sich in seiner Mikrographie[2]), einem Werke,

---

[1]) Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher. Leipzig 1908. Abschnitt 34.

[2]) Hooke, Micrographia or some philosophical descriptions of minute bodies. London 1665.

das auch in naturgeschichtlicher Hinsicht wichtig ist, weil darin die ersten Beobachtungen über den zelligen Bau der Pflanzen mitgeteilt werden. „Dicke Glimmerblättchen“, heißt es dort[1]), „sind farblos. Mache ich sie durch Spaltung immer dünner, so zeigt sich zuletzt jedes Blättchen schön gefärbt; dringt in die Spalten Luft ein, so zeigen sich Regenbogenfarben. Beim Zusammenpressen von Glasplatten entstehen Erscheinungen der gleichen Art“. Sehr dünn geblasenes Glas, angelassener Stahl, überhaupt sehr dünne durchsichtige Körper, die auf reflektierenden Körpern von anderer brechender Kraft liegen, bringen dieselben Farben hervor. Hooke führt, ganz im Sinne unserer heutigen Theorie, die Entstehung dieser Farben auf eine „Verwirrung“ der an den Grenzflächen der dünnen Schicht reflektierten Schwingungen zurück. Die Teilchen jedes leuchtenden Körpers seien in größerer oder geringerer Bewegung. Manche Stoffe würden durch Stoß oder Reibung leuchtend. Man müsse daher annehmen, daß das Licht in feinen Vibrationen bestehe und daß nur solche Körper durchsichtig seien, welche diese Bewegung aufnehmen und fortleiten könnten. Das Zustandekommen der Interferenzfarben erläutert nebenstehende, dem Werke Hookes entnommene Abbildung. (Siehe Abbildung 71.) Fällt danach ein

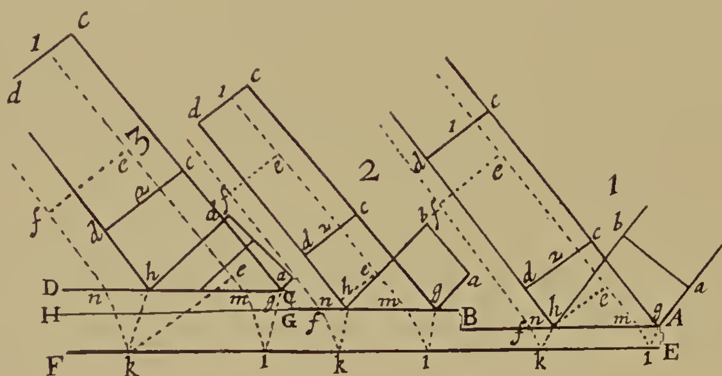


Abb. 71. Hooke erklärt das Zustandekommen der Interferenz.

Lichtstrahl, dem Hooke einen gewissen Durchmesser beilegt, auf eine dünne durchsichtige Platte, so wird ein Teil des Strahles gleich an der ersten Oberfläche zurückgeworfen. Ein anderer Teil aber dringt in die Platte ein und wird dann an der zweiten Grenzfläche reflektiert, um endlich abermals gebrochen

1) Micrographia, Observat. IX: Of the Colours observable in Muscovy Glass and other thin Bodies

und dem zuerst reflektierten Teile parallel aus der Platte wieder auszutreten. Da nun das Licht zu seiner Fortpflanzung Zeit gebraucht, so werden die beiden Teile, in welche der Strahl zerlegt wurde, nicht gleichzeitig von der ersten Fläche zurückgehen und durch dieses Nacheinander auf der Netzhaut die Farben erzeugen. Rot ist nämlich nach Hooke der Eindruck, den das Licht hervorruft, wenn der stärkere Teil vorangeht und der schwächere folgt. Beim Blau ist es umgekehrt. Letzteres entsteht bei der Interferenz, wenn das schwächere, aus der Platte kommende Licht mit dem Teil eines nachfolgenden Lichtstrahls zusammentrifft, der an der ersten Fläche reflektiert wird. Der schwächere Teil kann dann vorangehen und der einheitlich empfundene Lichtstrahl die Empfindung von Blau hervorbringen. Blau und Grün sind für Hooke die Grundfarben. Aus ihrer Mischung entstehen alle übrigen. Bei aller Unzulänglichkeit der Hookeschen Theorie ist doch ihr Grundgedanke, die Farben dünner Blättchen durch die Interferenz zweier an den Oberflächen reflektierten Strahlen entstehen zu lassen, in die heutige theoretische Optik übergegangen. Sein Mühen, Beziehungen zwischen der Dicke der die Interferenzerscheinungen veranlassenden Schicht uud den erzielten Wirkungen zu finden, blieb jedoch erfolglos.

„Eins, was von größter Wichtigkeit für diese Hypothese zu sein scheint", sagt Hooke über diesen Punkt, „nämlich die Bestimmung der Dicke der Platten, welche für das Eintreten jener Farbenerscheinungen notwendig ist, habe ich vielfach vergeblich auszuführen versucht. So außerordentlich dünn sind jene Platten und so unvollkommen unsere Mikroskope, daß alle meine Mühen in dieser Beziehung erfolglos gewesen sind."

An diesem Punkte setzen die Untersuchungen Newtons ein, die er im zweiten Buche seiner Optik zusammenfaßt. Um die Reihenfolge der Farben genauer zu untersuchen, legte Newton die Linse eines fünfzigfüßigen Teleskops auf eine ebene Glasfläche. Es entstanden die den Farben dünner Blättchen entsprechenden „Newtonschen" Ringe, die im einfachen Lichte nur in einer Folge von hell und dunkel bestehen, während das auf die Platte fallende Sonnenlicht die Spektralfarben hervorruft.

In der Nähe der Berührungsstelle, welche selbst vollkommen durchsichtig und farblos ist, bemerkte Newton die Farbenringe in der Reihenfolge Blau, Gelb, Rot. Die nächste Farbenfolge war Violett, Blau, Grün, Gelb, Rot und diese Folge wiederholte sich, bis die Farben immer schwächer wurden und nach der vierten Folge etwa

in Weiß übergingen. Auch aus diesem Ineinanderfließen schloß er, daß das weiße Licht eine Mischung aller Farben sei.

Aus der Krümmung der Linse und dem Abstand der Ringe vom Berührungspunkte berechnete Newton die jeder Farbe entsprechende Tiefe der Luftschicht. Für das Gelb eines jeden Farbenringes verhielten sich die betreffenden Werte wie 1 : 3 : 5 : 7 . . . während für die zwischen den gelben Zonen liegenden dunklen Partien die Durchmesser der Schicht dem Verhältnis 2 : 4 : 6 . . . entsprachen. Es ergab sich somit auf Grund mühevoller Messungen und Berechnungen das einfache Gesetz, daß die den hellen und dunklen Stellen entsprechenden Tiefen des vom Glase eingeschlossenen Mediums sich wie die natürlichen Zahlen verhalten[1].

Newtons weitere Bemühungen bestanden darin, eine Analogie zwischen den dauernden Farben der natürlichen Körper und den Farben dünner durchsichtiger Blättchen nachzuweisen. Dies geschah, indem er die Oberflächen der Körper als dünne Platten auffaßte, da alle Körper bis zu einem gewissen Grade durchsichtig seien.

Wie den Betrachtungen Hookes verhielt sich Newton auch den Versuchen Grimaldis gegenüber. In beiden Fällen ergänzte er die Arbeiten seiner Vorgänger durch genaue Messungen und lieferte dadurch wertvolles Material zur festeren Begründung der Wellentheorie, welche später an die Stelle seiner eigenen, unzutreffenden Ansichten über die Natur des Lichtes treten sollte.

Das dritte Buch der Optik enthält außer einer Nachprüfung und Erweiterung der Grimaldischen Versuche über die Beugung des Lichtes eine Anzahl von Betrachtungen, die Newton „Fragen" (Queries) genannt hat. In diesen „Fragen" bringt er das zur Sprache, was er den Forschern zur Prüfung und zum Nachweise durch weitere Beobachtungen und Versuche überlassen möchte. Er wünschte nämlich aus seinem Lehrgang der Optik dasjenige auszuscheiden, worüber er mit sich selbst noch nicht ins Reine gekommen war. So wird die Frage aufgeworfen, ob das Licht nicht die Körper erwärme, indem es die Körperteilchen in eine vibrierende Bewegung versetze[2]. Daß erhitzte Körper Licht aussenden, scheint ihm wiederum von einer vibrierenden Bewegung ihrer Teilchen herzurühren[3].

[1] Newton, Optice, Lib. II. Pars I. Observatio VI. S. 149 der Clarkeschen Ausgabe von 1740.

[2] Frage 5. (Ostwalds Klassiker. Nr. 97. S. 101).

[3] Frage 8. (Ostwalds Klassiker. Nr. 97. S. 101).

In den Belegen, welche Newton für diese Meinung beibringt, werden allerdings Erscheinungen zusammengestellt, für die sich im weiteren Verlaufe der Forschung die verschiedensten Ursachen ergeben haben. So sagt Newton, es leuchte Meerwasser beim Sturm, Quecksilber, wenn es im Vakuum geschüttelt werde, der Rücken einer Katze, wenn man ihn im Dunklen streichle. Ferner leuchte Phosphor beim Reiben und Eisen, wenn es rasch mit dem Hammer bearbeitet werde. Setze man eine Glaskugel in rasche Umdrehung, so werde sie an der Stelle, gegen welche man die Handfläche presse, leuchtend.

Weiter wird gefragt, ob nicht die Empfindung verschiedener Farben etwa dadurch erregt werde, daß die Lichtstrahlen Schwingungen von verschiedener Größe machten, etwa so wie die Schwingungen der Luft je nach ihrer Verschiedenheit die Empfindung der Töne erregen. Allerdings dachte sich Newton diese Schwingungen als longitudinale Schwingungen in dem Strome der materiellen Lichtkörperchen. — Newton verläßt also auch hier den Boden seiner Theorie nicht. Ja, er ist sogar der Ansicht, daß sich die festen Körper und das Licht ineinander umwandeln lassen [1]).

In einer seiner „Fragen“, die er an das Verhalten des Lichtes zum Doppelspat anknüpft, ist der Ursprung des Namens „Polarisation“ zu suchen. „Sieht nicht,“ sagt Newton [2]); „die ungewöhnliche Brechung im isländischen Kristall gar sehr danach aus, als käme sie durch eine Art anziehender Kraft zustande, welche nach gewissen Seiten hin sowohl den Strahlen als den Kristallteilchen innewohnt?“ Die den Strahlen innewohnende Kraft sollte derjenigen der Kristallteilchen ebenso entsprechen wie sich die „Pole zweier Magnete entsprechen“. Wie ferner der Magnetismus verstärkt oder geschwächt werden oder ganz fehlen könne, so sei auch die Kraft, die senkrecht einfallenden Lichtstrahlen zu brechen, größer im Doppelspat, kleiner im Bergkristall und endlich in anderen Körpern gar nicht vorhanden.

Dieser Gedanke Newtons wurde ein Jahrhundert später von Malus, als er die Polarisation durch Reflexion entdeckte, wieder aufgenommen. Und das Wort zur Bezeichnung der „Seitlichkeit“ gewisser Lichtstrahlen wurde später auch von den Anhängern der Wellentheorie beibehalten.

---

1) Frage 30. (Ostwalds Klassiker. Nr. 97. S. 124).

2) Frage 29. (Ostwalds Klassikor. Nr. 97. S. 123).

Im Anschluß an diese Fragen entwickelte dann Newton, jedoch gleichfalls in hypothetischer Form, die Grundzüge der Emissionstheorie. Nach dieser bestehen die Lichtstrahlen aus sehr kleinen Körperchen, die von den leuchtenden Substanzen ausgesandt werden. Solche Körper werden sich durch ein gleichförmiges Medium in geraden Linien fortbewegen. Durchsichtige Substanzen werden aus der Entfernung auf sie wirken, indem sie sie brechen, zurückwerfen und beugen. Um die Verschiedenheit in den Farben und den Graden der Brechbarkeit zu erklären, genügt die Annahme, daß die Lichtstrahlen aus Körperchen von verschiedener Größe bestehen, von denen die kleinsten das Violett erzeugen, und von denen die übrigen in dem Maße, in welchen sie größer werden, das Blau, Grün, Gelb und Rot hervorrufen und immer schwerer abgelenkt werden.

Am meisten tritt die Schwäche der Emanationstheorie hervor, wo es sich um die Interferenzerscheinungen handelt. Die Annahme periodisch wiederkehrender Anwandlungen leichter Reflexion und leichteren Durchganges, welche Newton hier machte, kann den Rang einer mechanischen Erklärung nicht mehr beanspruchen. Nicht geringere Schwierigkeiten bereitete die Doppelbrechung im isländischen Kalkspat. Newton meint indes, sie müsse gleichfalls durch eine Art anziehender Kraft zustande kommen, welche nach gewissen Seiten hin sowohl den Strahlen als den Kristallteilchen innewohne. Es sei aber schwer zu begreifen, wie die Lichtstrahlen nach zwei Seiten hin eine Kraft äußern könnten, wenn sie nicht aus Körperchen beständen.

Obgleich Newton selbst sich durchaus nicht entschieden zugunsten der einen oder der anderen der in dem fragmentarischen Anhang zur Optik diskutierten Theorien entschieden hatte, wurde von seinen Schülern und Anhängern der Emanationstheorie der Wert eines durch die Autorität des Meisters gestützten Dogmas beigelegt. Was Newton nur bezweifelte, wurde verworfen, was er dagegen für wahrscheinlich hielt, wurde als vollkommen sicher erachtet. So wurde er durch seine Schule zum Vater der Emanationstheorie[1]), obgleich er immer seine Neutralität gegenüber jeder Hypothese betont hatte. Diese Theorie setzte sich so unerschütterlich in den Köpfen fest, daß abweichende, von Huygens, Euler und Christian Wolf geäußerte Ansichten gar keine Beachtung fanden. Scheu und Achtung vor Newton hielt die

[1]) Rosenberger, Newtons Prinzipien. S. 329.

meisten Physiker des 18. Jahrhunderts davon ab, auch nur den leisesten Zweifel in die Richtigkeit der Emanationstheorie zu setzen. „Es ist wirklich ein trüber Fleck in der Geschichte der Physik, sagt einer ihrer Darsteller[1]), „und ein einleuchtender Beweis dafür, wie schädlich die Autorität eines großen Geistes auf die nachfolgenden Zeitalter wirken kann, wenn sie sich soweit steigert, daß dadurch die unbefangene Forschung unterdrückt wird."

Seinen Höhepunkt erreichte Newtons Schaffen, als er den im Jahre 1666 erfolglos angestellten Versuch, die Bewegung der Himmelskörper aus den Gesetzen der Mechanik zu erklären, wieder aufnahm. Anlaß hierzu bot die ihm im Jahre 1682 zugehende Mitteilung, daß Picard in Frankreich wesentlich andere Abmessungen für die Erdkugel erhalten habe, als man in England zur Zeit Newtons annahm. Jean Picard (1620—1682), ein Mitglied der französischen Akademie, hatte noch unter der Voraussetzung, daß die Erde die Gestalt einer Kugel besitze, eine Gradmessung durch Triangulation zwischen Amiens und Malvoisine ausgeführt[2]), bei welcher zum erstenmal mit Fernrohren versehene Winkelmeßinstrumente Anwendung fanden. Picard hatte für den Breitengrad einen Wert von 70 englischen Meilen oder 57060 Toisen[3]) erhalten, während Newton, welcher die von Snellius im Jahre 1617 ausgeführte Messung nicht kannte[4]), bei seiner 1666 ange-

[1]) Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 615.

[2]) Picard, La mésure de la terre. Paris 1671.

[3]) 1 Toise = 60 frz. Fuß = 1,949 m.

[4]) Sie hatte für den Breitengrad 55972 Toisen ergeben. Siehe auch Bd. I, Seite 85. Snellius verfuhr folgendermaßen. Er bestimmte die Polhöhe von Alkmaar zu 52° 40,5, diejenige von Bergen op Zoom zu 51° 29′. Der Abstand der durch beide Orte gehenden Parallelkreise ergab sich daraus zu 1° 11,5′. Die Messung dieses Abstandes ergab 55072 Toisen für den Grad. Bei dieser Messung wurde zum erstenmal das Verfahren der Triangulation angewandt (De terrae ambitu a Willebrordo Snellius (Leyden 1617), indem Snellius von einer festen, äußerst genau gemessenen Standlinie oder Basis ausging und von dieser aus durch Winkelmessung ein Netz von Dreiecken bestimmte. Als einige Jahre nach seiner ersten Messung die Umgegend von Leyden überschwemmt wurde und überfror, benutzte er diese Gelegenheit, um nochmals eine Ausgangslinie möglichst genau zu messen.

Willibrord Snellius, in Leyden 1591 geboren und dort als Universitätslehrer 1626 gestorben, ist uns bei früherer Gelegenheit als der Entdecker des Brechungsgesetzes bekannt geworden, auch rührt das trigonometrische Verfahren des „Rückwärtseinschneiden", das fälschlich wohl dem Franzosen Pothenot zugeschrieben wird, von Snellius her. Die hier kurz geschilderte Tätigkeit dieses hervorragenden Geometers war es also, die Newton die Lösung des größten naturwissenschaftlichen Problems, das je den Menschengeist beschäftigte, ermöglicht hat.

stellten Rechnung 60 englische Meilen für den Breitengrad angenommen hatte.

Die mittlere Entfernung des Mondes war hinlänglich genau bekannt. Newton nahm sie zu 60 Erdhalbmessern an. Das Stück, um welches der Mond in einer Minute infolge der auf ihn wirkenden Zentripetalkraft von der Tangente seiner Bahn abgelenkt wird, ergab sich aus diesen Daten gleich 15 Fuß[1]). Unter der im Jahre 1666 gemachten Annahme hatte die Rechnung 13½ Fuß ergeben, ein Wert, der keine einfache Beziehung zu dem an der Oberfläche der Erde von einem frei fallenden Körper in einer Minute durchlaufenen Wege erkennen ließ. Letzterer beträgt aber 5400 = 60·60·15 Fuß. Er ist also im Verhältnis des Quadrates der Entfernung größer als die zum Erdzentrum gerichtete Bewegung des Mondes, und in demselben Maße ist es daher auch die auf den fallenden Körper wirkende Kraft. Die Zentripetalkraft ergab sich folglich als mit der Schwere identisch, wenn man für die letztere voraussetzte, daß ihre Abnahme dem Quadrate der Entfernung entspricht. Damit war ein Gesetz von der größten Allgemeingültigkeit aufgefunden, welches man mit Recht als das Weltgesetz bezeichnet hat.

Als Newton die soeben mitgeteilte Folgerung zog, ergriff ihn eine solche Erregung, daß er einen Freund bitten mußte, die Rechnung zu Ende zu führen. Was schon Anaxagoras vorgeahnt, als er aussprach, wenn die Schwungkraft des Mondes aufhöre, so müsse dieser Weltkörper zur Erde fallen wie der Stein aus der Schleuder; was bei Kepler und Hooke mit wachsender Deutlichkeit hervortrat: das stand mit einem Schlage klar vor dem Geiste Newtons. Auf die glückliche Entdeckung des Augenblicks folgten dann Jahre mühevollster Arbeit. Galt es doch, die Richtigkeit des gefundenen Prinzips durch seine Anwendung auf sämtliche astronomischen Erscheinungen zu erweisen. Die Untersuchung wurde auf die Planeten, die Jupitermonde, die Erscheinungen der Ebbe und Flut, ja selbst auf die Kometen ausgedehnt. Überall ergab sich die Bestätigung des Gravitationsgesetzes, nach welchem die anziehende Kraft der Masse direkt und dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional ist. So entstanden die „Mathematischen Prinzipien der Naturwissenschaft“, durch welche Newton die Erklärung des Weltmechanismus aus seiner Gravitationstheorie zu einem vorläufigen Abschluß brachte[2]).

[1]) Genau gleich 15′ 1″ 1⁴/₉″. Siehe Newtons Prinzipien (Ausg. von Wolfers) S. 386.

[2]) Philosophiae naturalis principia mathematica, London 1687. Übersetzt

In seiner Schrift über die Bewegung der Erde[1]) streift Hooke an die Entdeckung des Gravitationsgesetzes. „Ich werde," heißt es dort, „ein Weltsystem erklären, das in jeder Beziehung mit den bekannten Regeln der Mechanik übereinstimmt. Dies System beruht auf drei Annahmen: Erstens, daß alle Himmelskörper ohne Ausnahme eine gegen ihren Mittelpunkt gerichtete Anziehung oder Schwerkraft besitzen, wodurch sie nicht bloß ihre eigenen Teile, sondern auch alle innerhalb ihrer Wirkungssphäre befindlichen Himmelskörper anziehen. Die zweite Voraussetzung ist die, daß alle Körper, welche in eine geradlinige und gleichförmige Bewegung versetzt werden, sich so lange in gerader Linie fortbewegen, bis sie durch irgendeine Kraft abgelenkt und in die Bahn gezwungen werden, welche einem Kreise, einer Ellipse oder einer anderen, nicht so einfachen, krummen Linie entspricht. Nach der dritten Annahme sind die anziehenden Kräfte um so stärker, je näher ihrem Sitz der Körper ist, auf den sie wirken. Welches die verschiedenen Grade der Anziehung sind, habe ich noch nicht durch Versuche feststellen können. Aber es ist ein Gedanke, der, wenn er weiter verfolgt wird, den Astronomen in den Stand setzen muß, alle Bewegungen der Himmelskörper nach einem gewissen Gesetz zu bestimmen." An diese Ausführungen wird der Wunsch geknüpft, daß jemand diesen Gedanken verfolgen möge, da der Verfasser selbst durch andere Dinge zu sehr in Anspruch genommen sei.

Die Gravitationsmechanik stellt sich im wesentlichen als eine Fortbildung der von Galilei aufgefundenen Sätze über den Wurf dar. Am klarsten geht dieser Zusammenhang aus der folgenden, von Newton selbst gegebenen Darstellung hervor[2]): „Daß durch die Zentralkräfte die Planeten in ihren Bahnen erhalten werden können, ersieht man aus der Bewegung der Wurfgeschosse. Ein geworfener Stein wird, indem ihn seine Schwere antreibt, vom geraden Wege abgelenkt und fällt, indem er eine krumme Linie beschreibt, zuletzt zur Erde. Wird er mit größerer Geschwindigkeit geworfen, so geht er weiter fort; und so könnte es geschehen, daß er einen Bogen von 10, 100, 1000 Meilen beschriebe und zu-

---

von Wolfers, Berlin 1872. Siehe auch Ferd. Rosenberger: Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien. Ein Hauptstück aus der Entwicklungsgeschichte der modernen Physik. Leipzig 1895.

[1]) Hooke, An attempt to prove the motion of the earth, London 1674. S. 27 und 28.

[2]) Newtons Prinzipien (ed. Wolfers), Seite 515.

letzt über die Grenzen der Erde hinausginge und nicht mehr zurückfiele. Es bezeichne (Abb. 72) A F B die Oberfläche der Erde, C ihren Mittelpunkt und V D, V E, V F krumme Linien, die ein von der Spitze V eines sehr hohen Berges in horizontaler Richtung und mit wachsender Geschwindigkeit geworfener Körper beschreibt. Damit der Widerstand der Luft nicht in Rechnung zu kommen braucht, wollen wir sie uns ganz fortgenommen denken. Auf dieselbe Weise, wie der mit zunehmender Geschwindigkeit geworfene Körper die Bögen V D, V E und V F beschreibt, wird er endlich, wenn die Geschwindigkeit noch weiter vergrößert wird, über den Umfang der Erde fortgehen und zu dem Berge, von welchem er geworfen wurde, zurückkehren[1]). Da nun nach den Sätzen, welche von der Zentrifugalkraft handeln[2]), die Geschwindigkeit bei der Rückkehr zum Berge nicht kleiner als beim Ausgange sein kann, so muß der Körper fortfahren, sich in derselben Weise um die Erde herumzubewegen. Denken wir uns Körper aus höheren Punkten in horizontaler Richtung fortgeworfen, und zwar aus Punkten, welche 10 Meilen, 100 Meilen oder ebensoviele Halbmesser über der Oberfläche der Erde liegen, so werden diese Körper, je nach ihrer Geschwindigkeit und nach der in den einzelnen Punkten herrschenden Anziehung, Kurven beschreiben, die entweder konzentrisch oder exzentrisch sind. Und in diesen Bahnen werden sie fortfahren, nach der Weise der Planeten den Weltraum zu durchwandern.“

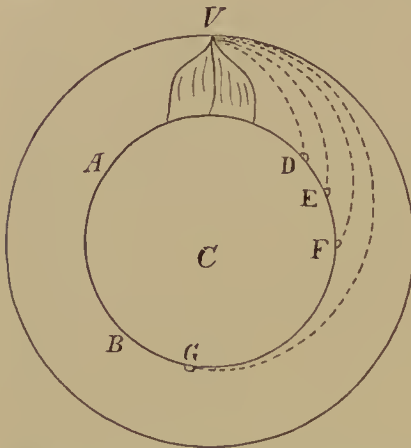


Abb. 72. Newtons Ableitung der Zentralbewegung aus der Wurfbewegung[3]).

Die hier stattgefundene Erweiterung gegenüber der Betrachtung Galileis besteht also darin, daß die Richtung der auf den Körper konstant wirkenden Kraft sich stetig ändert, während sie im anderen Falle[4]) dieselbe bleibt.

Newton begründete mit seinem Werk die mathematische

---

1) Dies würde geschehen, wenn die Geschwindigkeit 21000′ für die Sekunde beträgt.

2) Newtons Prinzipien, I. Buch. § 13.

3) Newtons Prinzipien (ed. Wolfers), Fig. 213.

4) Siehe Abb. 14 ds. Bandes.

Physik; und die „Prinzipien“ sind zwar nicht dem Umfange, wohl aber der Methode nach das erste Lehrbuch dieses Gebietes. Die Bedeutung der „Prinzipien“ für die Entwicklung nicht nur der Mechanik und der Astronomie, sondern aller übrigen Zweige der Naturwissenschaft ist so groß, daß wir diesem Werke eine etwas eingehendere Betrachtung widmen müssen.

Newton beginnt mit einer Reihe von Definitionen und Gesetzen, welche teils neu sind, teils zum ersten Male mit hinlänglicher Klarheit von ihm ausgesprochen werden. Die wichtigsten lauten:

1. Die Größe der Materie oder die Masse wird durch ihre Dichtigkeit und ihr Volumen bestimmt.
2. Die Größe der Bewegung ist das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit.
3. Jeder Körper, auf den keine Kraft wirkt, beharrt im Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung.
4. Eine Kraft ist das auf diesen einen ausgeübte Bestreben, seinen Bewegungszustand zu ändern.
5. Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung, nach welcher jene Kraft wirkt.
6. Die Wirkungen zweier Körper auf einander sind stets gleich und von entgegengesetzter Richtung.
7. Ein Körper beschreibt unter der Wirkung zweier Kräfte die Diagonale eines Parallelogramms. Und zwar geschieht dies in derselben Zeit, in welcher er vermöge der einzelnen Kräfte die Seiten beschrieben haben würde.

Um verwickeltere Bewegungsaufgaben zu lösen genügte die von den Alten geschaffene mathematische Methode nicht mehr. In der Dynamik waren veränderliche, fließende Größen und die momentanen Veränderungen, welche ihr Verhältnis erleidet, in Rechnung zu ziehen. Newton befand sich, als er die Prinzipien schrieb, zwar schon im Besitze einer von ihm erfundenen, als Fluxionsrechnung bezeichneten Methode, welche speziell für die Mechanik geschaffen war und der soeben ausgesprochenen Forderung genügte. Newton gibt an mehreren Stellen seines Werkes, allerdings nur kurze, lückenhafte Abrisse seiner Methode. Seltsamerweise zieht er aber bei der Lösung der Bewegungsaufgaben die alte, geometrisch-synthetische Art der Darstellung vor.

Nachdem er die mechanischen Grundbegriffe, wie wir an einigen Beispielen gesehen haben, formuliert und seine mathe-

matische Methode auseinandergesetzt, wendet sich Newton seiner eigentlichen Aufgabe zu. Er beginnt mit der Bestimmung der Zentralkräfte. Zunächst beweist er in der noch heute üblichen Weise, daß die Bahnen von Körpern, die sich unter dem Einfluß einer Zentripetalkraft bewegen, in festen Ebenen liegen und daß die von den Radien beschriebenen Flächen den Zeiten proportional sind. Es möge wenigstens die Newtons Beweis zugrunde liegende Konstruktion hier Platz finden (Abb. 73).

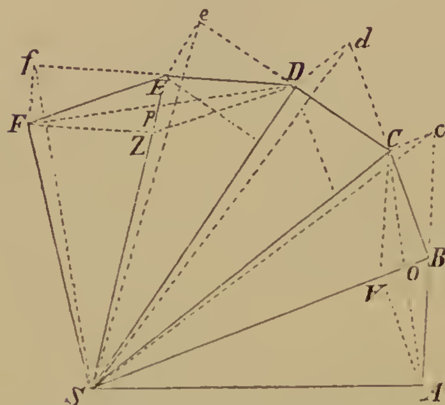


Abb. 73. Newtons Satz über die Zentralbewegung.

Auf diesen Satz folgt seine Umkehrung, daß jeder Körper, der sich in einer festen Fläche so bewegt, daß die Leitstrahlen in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreiben, unter der Wirkung einer Zentripetalkraft steht.

Newton geht dann zu der Bewegung der Körper in Kegelschnitten über, deren einer Brennpunkt das Kraftzentrum ist. Er betrachtet zuerst den für die Planetenbewegung wichtigsten Fall, daß der Körper sich in einer Ellipse bewegt und sucht das Gesetz der nach ihrem Brennpunkt gerichteten Zentralkraft zu ermitteln. Es ergibt sich, daß die gesuchte Kraft dem Quadrate des Radius vector umgekehrt proportional ist. Dasselbe Gesetz wird dann auch für die Parabel und für die Hyperbel abgeleitet. In einem besonderen Abschnitt werden die anziehenden Kräfte sphärischer Körper erörtert. Ihre Gesamtanziehungen werden aus den Einzelanziehungen der Teilchen abgeleitet, welche den Körper zusammensetzen. Newton findet, daß die Wirkung einer homogenen Vollkugel auf einen außerhalb befindlichen Punkt der Masse direkt und dem Quadrat des Abstandes vom Mittelpunkt der Kugel umgekehrt proportional ist.

Dagegen ergibt sich, daß sich die Wirkung der Vollkugel auf einen inneren Punkt direkt wie die Entfernung dieses Punktes vom Mittelpunkte verhält. Die Anziehungen endlich, welche eine Kugel auf die andere ausübt, verhalten sich direkt wie die anziehenden Kugeln und indirekt wie die Quadrate der Entfernungen der Mittelpunkte.

Nachdem Newton in den beiden ersten Büchern seines fundamentalen Werkes die allgemeinen Gesetze der Bewegung, einschließlich der Bewegungen der Flüssigkeiten entwickelt, bringt er im dritten Buche die Anwendung dieser Gesetze auf das Weltsystem.

Newton zeigt, daß sowohl das zweite wie das dritte Keplersche Gesetz aus dem allgemeinen Gesetze, welches die Anziehung regelt, gefolgert werden können. Es wird ferner dargetan, daß alle Monde gegen ihre Planeten und alle Planeten gegen die Sonne schwer sind, sowie daß sich die Bewegungen dieser Körper durch Zentralkräfte regeln, welche den Massen direkt und den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional sind. Das Newtonsche Gesetz gilt somit für den ganzen Weltraum. Es ist das schon so lange erstrebte, mehr oder minder deutlich von anderen vorgeahnte, von Newton dagegen erst in voller Klarheit enthüllte Weltgesetz.

Auf die Erkenntnis dieses allgemeinsten Gesetzes folgt wieder die Ableitung der Einzelheiten, wie der planetarischen Störungen, der Ungleichheiten der Mondbewegung, der Ebbe und Flut des Meeres usw. „Alle Planeten", sagt Newton, „sind gegeneinander schwer, daher werden z. B. Jupiter und Saturn sich wechselseitig in der Nähe ihrer Konjunktion anziehen und ihre Bewegungen wechselseitig merklich stören. Ebenso wird die Sonne die Bewegung des Mondes und Sonne und Mond unser Meer stören." Die Ableitung der gedachten Erscheinungen, die bisher jeder mechanischen Erklärung gespottet hatten, aus dem Gravitationsgesetz machte nicht geringe Schwierigkeiten. Sie völlig zu heben, war Newton noch außer Stande, weil er sich auf die anziehenden Kräfte von Körpern sphärischer Gestalt beschränkte. Doch ist es ihm gelungen, in der Hauptsache den Zusammenhang und die Begründung des Weltsystems aus seinem Gesetze abzuleiten.

An die Gravitationslehre anknüpfend, wollen wir noch die Ansichten erwähnen, die Newton sich nach dem Vorgange von Descartes und Gassendi über die Konstitution der Materie gebildet hatte. Er hält es für das Wahrscheinlichste, daß sie aus festen, undurchdringlichen, beweglichen Partikeln bestehe. Da die Naturkörper, z. B. das Wasser, in ihren Eigenschaften unveränderlich seien, so müßten die Partikeln, aus denen sie beständen, weder abgenutzt noch zerstört werden können. Der Wandel der körperlichen Dinge sei ausschließlich in die Trennungen, Vereinigungen und Bewegungen jener unveränderlichen Partikel zu verlegen. Diese Veränderungen sollen aus aktiven Prinzipien, zu denen

Newton die Schwerkraft und die Kohäsion rechnet, erfolgen. Er betont aber, daß diese Prinzipien nicht mit den verborgenen Qualitäten der Aristoteliker verwechselt werden dürften, sondern allgemeine Naturgesetze seien. Die Wahrheit dieser Prinzipien werde uns aus den Erscheinungen deutlich, wenn ihre Ursachen bis jetzt auch nicht entdeckt worden seien. Der Unterschied ist also der, daß die Aristoteliker annahmen, die Wirkungen der Dinge entsprängen aus unbekannten Eigenschaften, die sich weder entdecken noch klarstellen ließen. Damit war natürlich jeder Fortschritt in der Naturerkenntnis gehemmt. Die neuere, durch Newton vertretene Richtung erkannte es dagegen als einen großen Fortschritt, aus den Erscheinungen allgemeine Prinzipien der Bewegung herzuleiten und dann zu zeigen, wie aus solchen Prinzipien die Eigenschaften und Wirkungen der körperlichen Dinge folgen, wenn auch die Ursache jener Prinzipien selbst unbekannt bleibt. Das ist der Grundgedanke, der Newton bei seinen Forschungen leitete; und in diesem Sinne ist auch sein oft erwähnter Ausspruch: „Hypothesen ersinne ich nicht" zu verstehen.

Newtons Weltanschauung war indessen keine rein materialistische. Es erscheint ihm durchaus unphilosophisch, anzunehmen, die Welt sei allein durch die Wirkung der Naturgesetze aus dem Chaos entstanden, wenn sie auch, nach diesen Gesetzen einmal gebildet, lange Zeit fortbestehen könne. Die wundervolle Gesetzmäßigkeit im Planetensystem z. B. könne nicht aus einem blinden Zufall hervorgegangen sein, sondern sie entspräche einer bestimmten Sorgfalt und Anordnung. Wir werden später sehen, daß das 18. Jahrhundert Newton hierin nicht beipflichtete und daß ein Kant und ein Laplace mit Erfolg versucht haben, den Aufbau des Planetensystems auf mechanisch wirkende Ursachen zurückzuführen.

Aber auch abgesehen von diesen, auf einen teleologischen Standpunkt Newtons hindeutenden Erwägungen war seine Auffassung des Weltganzen eine dualistische. Er nimmt an, daß eine geistige Substanz alle Körper durchdringt und in ihnen enthalten ist. „Durch die Kraft dieser geistigen Substanz", sagt er[1], „ziehen sich die Teilchen der Körper wechselseitig an". Durch diese Kraft wirken sie aber auch auf die größte Entfernung. Aus den Vibrationen der geistigen Kraft wird ihm auch die Tätigkeit

[1] Newtons Prinzipien. III. 5. Abschnitt.

des Gehirns und die Wirkung dieses Organs auf die Nerven und Muskeln erklärlich. Daß Newton außerdem noch in den Prinzipien Betrachtungen über das Wesen Gottes, als welchen er nicht etwa die Weltseele gelten lassen will, anstellt, steht außer Zusammenhang mit seinem, im übrigen so wohl gefügten, Lehrsystem.

Newtons Lehre vermochte sich, zumal in Frankreich und in Deutschland, nur langsam Bahn zu brechen, da die zeitgenössischen Astronomen, noch mehr aber die Physiker, zu sehr in der von Descartes aufgestellten Wirbeltheorie befangen waren. Letzterer, der als Begründer der neueren Philosophie das größte Ansehen genoß, und dessen Bemühen um die Formulierung des Brechungsgesetzes, um die Theorie des Regenbogens, sowie um die Begründung der analytischen Geometrie gleichfalls Anerkennung verdient, dachte sich die Planeten in kreisenden Ätherströmen schwimmend, in deren Mitte sich die Sonne befinden sollte. Eine Wirkung in die Ferne schien den Anhängern der Cartesianischen Physik ganz unannehmbar.

Aus Newtons Schriften geht nicht mit Sicherheit hervor, ob er sich die Wirkung in die Ferne als eine unvermittelte oder als eine vermittelte dachte. Jedenfalls ist die Annahme einer vermittelten Fernwirkung nicht erst im 19. Jahrhundert durch Faraday entstanden. Sie hat vielmehr schon im 18. Jahrhundert namhafte Vertreter gefunden. Auch Kepler hat sich lange vor Newton gegen die Möglichkeit einer actio in distans ausgesprochen und eine die Schwere bedingende Strahlungsenergie angenommen, die sich wie das Licht durch den Raum ausbreiten und alle Körper durchdringen sollte [1]). Der große deutsche Philosoph Leibniz nahm eine vermittelnde Stellung ein. Viel weniger konnte sich Huygens mit der Newtonschen Kraftidee befreunden [2]). Er bemühte sich deshalb, auf Cartesianischer Grundlage die Schwerkraft, für welche er das Newtonsche Gesetz nicht etwa in Abrede stellte, mechanisch zu erklären. Seine Ansichten, auf die wir in dem nächsten Abschnitt zurückkommen, entwickelte er im Jahre 1690 als Anhang zu seinem Werke über das Licht.

Allmählich gelangte die Newtonsche Gravitationsmechanik indessen doch zur allgemeinen Anerkennung. Und hundert Jahre später waren es gerade die Franzosen, vor allem ihr großer Astronom

[1]) E. Hoppe, Zur Geschichte der Fernwirkung. Programm des Wilhelmgymnasiums, Hamburg 1901.

[2]) Rosenberger, Newtons Prinzipien. S. 234.

Laplace, welche das von Newton in den gröberen Zügen ausgearbeitete System bis in alle Einzelheiten vollendet haben.

Zu der Zeit, als die „Prinzipien“ erschienen, bekleidete Newton immer noch die Professur der Mathematik in Cambridge, deren kärgliche Besoldung kaum den bescheidensten Ansprüchen genügte. Dazu kam das Unglück, daß ein Teil seiner wertvollen Aufzeichnungen verbrannte. Newton wurde dadurch so bekümmert, daß man eine Geistesstörung befürchtete. Diese äußeren Verhältnisse wurden jedoch mit einem Schlage durch Newtons Ernennung zum königlichen Münzmeister geändert. Seitdem wohnte er, im Alter mit Ehren überhäuft, bald in der Hauptstadt, bald auf einem Landsitz in der Nähe, bis ein Steinleiden am 31. März des Jahres 1727 seinem an wissenschaftlichen Erfolgen so überaus reichen Leben ein Ziel setzte.

Newton war trotz seiner außerordentlichen Bedeutung ein bescheidener, stiller Gelehrter. „Ich weiß nicht“, sprach er einst, „wie ich der Welt erscheine. Mir selbst aber komme ich vor wie ein Knabe, der am Meeresufer spielt und sich damit belustigt, dann und wann einen glatten Kiesel oder eine schönere Muschel als gewöhnlich zu finden, während der große Ozean der Wahrheit unerforscht vor ihm liegt.“

Newton wurde in der Westminsterabtei, der Stätte, wo Englands große Männer ruhen, unter Ehrenbezeugungen beigesetzt, wie sie sonst nur verstorbenen Mitgliedern des königlichen Hauses erwiesen werden. Das Denkmal, welches seinen Staub deckt, trägt einen in lateinischer Sprache verfaßten Nachruf, dessen Wortlaut nachstehend in deutscher Übersetzung wiedergegeben sei:

Hier ruht
Sir Isaac Newton,
Welcher mit fast göttlicher Geisteskraft
Der Planeten Bewegung und Gestalten,
Die Bahnen der Kometen und die Gezeiten des Ozeans
Mit Hilfe seiner mathematischen Methode
Zuerst erklärte.

Er ist es, der die Verschiedenheiten der Lichtstrahlen,
Sowie die daraus entspringenden Eigentümlichkeiten der Farben,
Die niemand vorher auch nur vermutete, erforscht hat.
Als der Natur, der Altertümer und der Heiligen Schrift
Fleißiger scharfsinniger und getreuer Deuter,

Verherrlichte er die Majestät des allmächtigen Schöpfers in seiner
Philosophie.
Die vom Evangelium geforderte Einfalt bewies er durch seinen
Wandel.
Mögen die Sterblichen sich freuen, daß unter ihnen wallte
Eine solche Zierde des Menschengeschlechtes.

Geboren am 25. December 1642, gestorben am 20. März 1727 [1]).

---

[1]) Nach dem gregorianischen Kalender am 5. Januar 1643 und am 31. März 1727.

12. Huygens und die übrigen Zeitgenossen Newtons.

Aus der Schar der zeitgenössischen Forscher ragte wohl niemand soweit an Newton heran wie der schon wiederholt erwähnte Niederländer Huygens, den Newton selbst Summus Hugenius nannte. Auch Huygens stand auf den Schultern Galileis. Seine Tätigkeit erstreckte sich auf dieselben Wissensgebiete, auf denen Newton bahnbrechend wirkte, auf die Optik und die Mechanik; und wo zwischen beiden Forschern Meinungsverschiedenheiten entstanden, hat die Aufhellung der letzteren nur Fortschritte gezeitigt.

Christiaan Huygens wurde am 14. April des Jahres 1629 im Haag geboren. Ausgestattet mit einer mathematischen Begabung, welche frühzeitig die Bewunderung seines Zeitalters erregte, zeichnete ihn außerdem ein hervorragendes Geschick für die praktische Bewältigung mechanischer Probleme aus. Wie auf Galilei und Newton, so ist auch auf ihn die Mitwelt zuerst durch seine astronomischen Entdeckungen aufmerksam geworden. Die von Galilei am Saturn beobachtete, rätselhafte Erscheinung, welche letzterer für eine Verdreifachung dieses Gestirns angesehen hatte[1]), erfuhr nämlich durch Huygens die richtige Deutung. Vor ihm hatte sich Grimaldi und insbesondere Hevel mit der Deutung des rätselhaften Aussehens des Planeten beschäftigt. Grimaldi hatte den Eindruck, als ob Saturn mit zwei Henkeln versehen sei, während Hevel für das veränderliche Aussehen des Planeten eine Periode von fünfzehn Jahren annahm.

Huygens erkannte vermittelst der vorzüglichen, von ihm verfertigten Refraktoren, daß es sich hier weder um eine Verdreifachung, noch um zwei Henkel, welche spätere Beobachter zu sehen glaubten, handeln könne; sondern er erblickte den Saturn von einem freischwebenden Ringe umgeben, wie es uns die neben-

---

1) Siehe S. 19.

stehende, dem Werke über das System des Saturn[1]) entnommene Abbildung 74 erkennen läßt.

Huygens machte diese Entdeckung im Jahre 1655. Er veröffentlichte sie zunächst nach damaliger Sitte in Form eines Änigmas. Dieses lautete:

$$a^7 c^5 d^1 e^5 g^1 h^1 i^7 l^4 m^2 n^9 o^4 p^2 q^1 r^2 s^1 t^5 u^5.$$

In diesem Ausdruck bedeuten die Ziffern, wie oft der betreffende Buchstabe in der Lösung vorkommt. Letztere lautet: Saturnus cingitur annulo tenui, plano, nusquam cohaerente et ad eclipticam inclinato[2]).

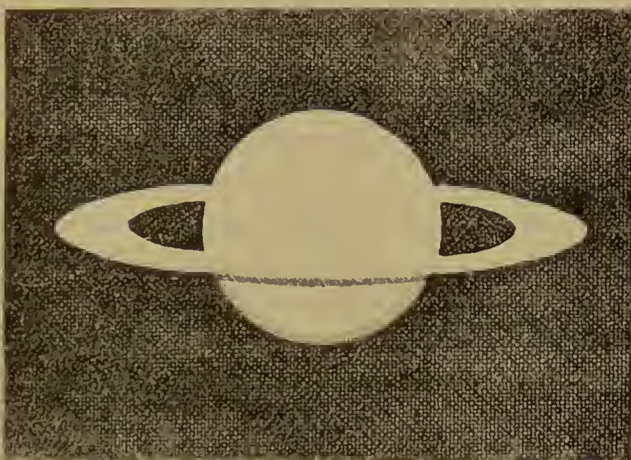


Abb. 74. Huygens' Darstellung des Saturnringes.

Huygens durfte mit Recht von einem System des Saturns reden, da er auch den sechsten und größten der ihn umkreisenden Monde aufgefunden hatte[3]). Er verfolgte diesen neuen Weltkörper lange Zeit und fand, daß er in 16 Tagen seinen Umlauf um den Saturn vollendete.

Der von Huygens entdeckte Mond des Saturn war der erste der vielen kleinen Begleiter dieses Planeten, den ein menschliches Auge erblickte; deshalb war auch diese Entdeckung Huygens' eine wesentliche Bereicherung unserer Kenntnis des Planetensystems.

Fast zur selben Zeit, als die Entdeckung des Saturnringes erfolgte, wurde Huygens auf die später zu besprechende Erfindung der Pendeluhr geleitet[4]). Durch diese Leistungen war er schon, bevor er das 30. Lebensjahr erreicht und noch ehe er seine für die Mechanik und die Optik grundlegenden Werke veröffentlicht hatte, zu einer Berühmtheit von europäischem Rufe geworden.

---

1) Christiani Hugenii Systema Saturnium. Haag 1659.

2) Saturn wird von einem dünnen, ebenen, freischwebenden Ringe umgeben, welcher zur Ekliptik geneigt ist.

3) Die übrigen sieben Saturnmonde wurden später von Cassini, Herschel u. a. entdeckt.

4) Das Patent, welches er auf seine Erfindung nahm, datiert vom 16. Juni 1657.

Als daher Colbert die französische Akademie der Wissenschaften errichtete, war es das Erste, daß er den niederländischen Forscher berief. Huygens leistete der Ernennung Folge und blieb von 1666 bis 1681 eine Zierde des neubegründeten Instituts. Da jedoch in Frankreich die Verfolgungen der Protestanten einen bedrohlichen Charakter annahmen, kehrte er noch vor der Aufhebung des Ediktes von Nantes, obgleich man ihm selbst volle Religionsfreiheit zugesichert hatte, in die Vaterstadt zurück. Dort starb er am 8. Juni 1695.

Huygens' Hauptverdienst um die Optik besteht in der Aufstellung der schon erwähnten Wellentheorie. Angeregt wurden seine Betrachtungen einerseits durch die Spekulationen Descartes' und Hookes, von denen der letztere das Licht gleichfalls als eine Wellenbewegung ansprach, ohne jedoch seine Ansichten ausführlicher zu begründen; andererseits durch die Entdeckung der Doppelbrechung, sowie der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Mit dem Problem, diese Geschwindigkeit gleich derjenigen des Schalles zu messen, hatte sich schon Galilei befaßt. Er war indes, wie man es bei der Anwendung einfacher Lichtsignale nicht anders erwarten konnte, zu keinem Ergebnis gelangt. Descartes' Meinung ging dahin, daß zwar nichts Stoffliches von den leuchtenden Körpern in unser Auge gelange; indessen sei das Licht keine Bewegung, sondern vielmehr ein Streben nach Bewegung. Und dieses Streben beanspruche, als etwas gänzlich Unkörperliches, zu seiner Fortpflanzung keine Zeit. Descartes war der Erste, der die Frage durch astronomische Gründe zu entscheiden suchte. Breitet sich das Licht, so schloß er, in der Zeit aus, dann kann die Verfinsterung des Mondes durch die Erde nicht in demselben Augenblicke eintreten, in welchem sich die Erdkugel zwischen Mond und Sonne schiebt. Nun zeigen aber die Beobachtungen, daß die Mondfinsternis in demselben Augenblicke beginnt, in welchem der Mond in die Richtung der Verbindungslinie von Erde und Sonne tritt. Die Fortpflanzung des Lichtes wird also keine Zeit beanspruchen. Demgegenüber bemerkt Huygens, daß die Betrachtungen, welche Descartes anstellt, wohl eine sehr schnelle, keineswegs aber eine augenblickliche Fortpflanzung des Lichtes beweisen. Wenn letzteres z. B. den Weg von der Erde zum Monde innerhalb zehn Sekunden zurücklege, so würde dies in den astronomischen Beobachtungen nicht leicht wahrzunehmen sein.

Descartes war es auch, der zuerst die alte aristotelische Ansicht von der Entstehung der Farben aus einer Mischung von Licht

und Dunkelheit durch eine auf mechanischen Prinzipien beruhende Erklärung zu ersetzen suchte, während Huygens von der Erklärung der Farben gänzlich absah.

Huygens' Voraussetzung, daß das Licht zu seinem Wege Zeit gebraucht, hatte erst wenige Jahre vor der Veröffentlichung seiner Wellentheorie ihre Bestätigung gefunden[1]). Dies geschah durch die Beobachtungen, welche der dänische Mathematiker Olaf Römer[2]) an dem innersten Jupitertrabanten anstellte. Letzterer bewegt sich in etwa 42½[3]) Stunden um den Zentralkörper und tritt nach jedesmaligem Ablauf dieses Zeitraumes aus dem Schatten des Jupiter heraus. Huygens gibt in seiner „Abhandlung über das Licht" folgenden Bericht über die von Römer angestellten Beobachtungen und Folgerungen: A (Abb. 75) sei die Sonne, BCDE die jährliche Bahn der Erde, F der Jupiter und GN die Bahn des nächsten seiner Begleiter. Bei H möge dieser aus dem Schatten des Jupiter treten. Setzt man nun voraus, daß dies geschah, während die Erde sich im Punkte B befand, so müßte man, wenn die Erde an derselben Stelle bliebe, nach Ablauf von 42½ Stunden einen ebensolchen Austritt beobachten. Wenn nun die Erde beispielsweise während 30 Umläufe des Mondes immer in B verharrte, so würde man ihn gerade nach 30.42½ Stunden wieder aus dem Schatten hervorkommen sehen.

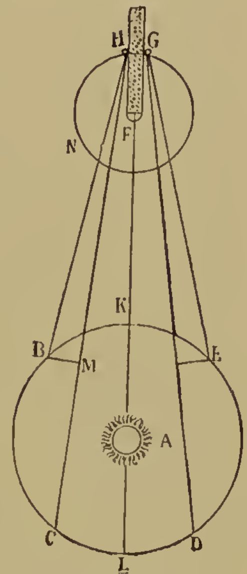


Abb. 75. Römer berechnet die Geschwindigkeit des Lichtes [4]).

[1]) Siehe Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher, S. 96.

[2]) Olaf oder Olof Römer wurde am 25. September 1644 zu Arhuus geboren und starb am 19. September 1710 in Kopenhagen. Die erwähnten Beobachtungen stellte er 1672—1676 auf der Pariser Sternwarte an. Sein Bericht an die Pariser Akademie datiert vom 22. November 1675. (Anc. Mémoires, Paris. Tome I et X.)

[3]) 42 Stunden 27 Minuten 33 Sekunden.

[4]) Chr. Huygens, Abhandlung über das Licht. Fig. 2. Siehe Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 20, S. 14.

Die Abhandlung über das Licht (Traité de la lumière) erschien im Jahre 1690 in Leyden, zusammen mit der Untersuchung über die Ursache der Schwere (Discours de la Cause de la Pesanteur). Die Arbeit über das Licht entstand schon in Paris um 1678. Dadurch, daß Huygens 1681 Frankreich der Mißhandlung seiner Glaubensgenossen wegen verließ, wurde die Herausgabe bis zum Jahre 1690 verzögert. Eine lateinische Übersetzung wurde 1728 von s'Gravesande unter dem Titel „Tractatus de Lumine" herausgegeben.

Während dieser Zeit hat sich indes die Erde nach C bewegt, indem sie sich mehr und mehr von dem Jupiter, der infolge seiner langen Umlaufszeit seine Stellung wenig verändert hat, entfernte. Daraus folgt, daß, wenn das Licht für seine Fortpflanzung Zeit gebraucht, das Auftauchen des kleinen Mondes in C später bemerkt werden wird, als dies in B geschehen wäre. Man muß nämlich zu der Zeit von 30 . 42½ Stunden noch diejenige hinzufügen, welche das Licht gebraucht, um den Weg MC, nämlich den Unterschied der Strecken CH und BH zu durcheilen. Ebenso wird man, wenn die Erde von D nach E gelangt und sich somit dem Jupiter nähert, das Eintreten des Mondes G in den Schatten bei E früher beobachten müssen, als dies geschehen würde, wenn die Erde in D geblieben wäre. Römers Berechnungen ergaben, daß das Licht ungefähr 11 Minuten gebraucht, um den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen. Spätere Messungen haben diesen in Anbetracht der großen Strecke schon außerordentlich geringen Wert sogar auf 8 Minuten herabgesetzt. Die Lichtgeschwindigkeit ist demnach nicht das 600000fache derjenigen des Schalles, wie Huygens angibt, sondern nahezu das 900000fache.

Wenn, schloß Huygens, das Licht zu seinem Wege Zeit gebraucht, so folgt daraus, daß es sich wie der Schall in kugelförmigen Flächen oder Wellen ausbreitet. Indessen hebt Huygens sofort einen wichtigen Unterschied hervor. Während nämlich der Schall durch die plötzliche Erschütterung des ganzen Körpers oder eines beträchtlichen Teiles eines solchen hervorgebracht wird, muß die Lichtbewegung von jedem Punkte des leuchtenden Gegenstandes ausgehen, damit man alle Teile dieses Gegenstandes wahrnehmen kann.

Um das Licht zu erklären, nimmt Huygens an, die leuchtenden Körper seien aus Teilchen zusammengesetzt, die sich sehr heftig bewegen und gegen die umgebenden, viel kleineren Ätherteilchen stoßen. „Die Bewegung der Teilchen, welche das Licht erzeugen, muß," fügt er hinzu, „viel schneller und heftiger sein als diejenige der Körper, welche den Schall verursachen, denn wir sehen, daß die zitternde Bewegung eines tönenden Körpers ebensowenig imstande ist, Licht zu erzeugen, wie die Bewegung der Hand in der Luft Schall hervorzubringen vermag."

Die Materie, in welcher die von den leuchtenden Körpern ausgehende Bewegung sich ausbreitet, nennt Huygens Äther. Diese Materie könne nicht dieselbe sein, wie diejenige, welche zur

Ausbreitung des Schalles diene. Denn man finde, daß die letztere nichts anderes ist, als die Luft, und daß, wenn man die Luft wegnimmt, die andere, dem Lichte dienende Materie zurückbleibt. Es muß also, schließt Huygens, ein von der Luft verschiedener Stoff, den er als Äther bezeichnet, vorhanden sein.

Um die rasche Fortpflanzung des Lichtes zu erklären, legt Huygens den Ätherteilchen drei Eigenschaften bei. Sie sind äußerst klein, weit kleiner als die Luftteilchen; sie sind ferner sehr hart, gleichzeitig aber äußerst elastisch. Nimmt man nämlich eine Anzahl gleich großer Kugeln aus sehr hartem und gleichzeitig sehr elastischem Material, etwa Stahl, und ordnet sie in gerader Linie so an, daß sie sich berühren, so wird, wenn eine gleiche Kugel gegen die erste Kugel dieser Reihe stößt, die Bewegung wie in einem Augenblicke bis zur letzten gelangen. Diese trennt sich darauf von der Reihe, ohne daß man bemerkt, daß die übrigen sich bewegt hätten. Die Kugel, welche den Stoß ausgeübt hat, bleibt sogar unbeweglich mit den übrigen vereinigt [1]). Es offenbare sich hierin ein Bewegungsübergang von außerordentlicher Geschwindigkeit, die umso größer sei, je größere Härte und Elastizität die Substanz der Kugeln besitze. Darin, daß der Äther als flüssiger Körper sich in beständiger Bewegung befinden muß, weil die Bewegung der übrigen Materie in ihm vor sich geht, erblickt Huygens keine Schwierigkeit. Die Fortpflanzung der Ätherwellen besteht nämlich nach ihm nicht in der Fortbewegung der Ätherteilchen, sondern in einer geringen Erschütterung, die sich trotz der ihre gegenseitige Lage verändernden Bewegung auf die umgebenden Teilchen übertragen müsse. Was den Ursprung dieser Wellen und die Art ihrer Fortpflanzung anbetrifft, fährt Huygens fort, so folgt aus dem Vorausgeschickten, daß jede kleine Stelle eines leuchtenden Körpers, wie der Sonne, einer Kerze oder einer glühenden Kohle, Wellen erzeugt, deren Mittelpunkt diese Stelle ist. Sind z. B. in einer Kerzenflamme A, B, C verschiedene Punkte, dann stellen die um jeden dieser Punkte beschriebenen konzentrischen Kreise die Wellen dar, die von den Punkten ausgehen.

Auch darin, daß eine Menge von Wellen sich durchkreuzen, ohne sich gegenseitig aufzuheben, liegt für Huygens nichts Un-

[1]) Dieser in vielen Lehrbüchern der Physik beschriebene Apparat (z. B. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, III. Aufl. Bd. I, Fig. 66) zum Nachweis der Gesetze des Stoßes wurde von Mariotte angegeben. (Traité de la percussion ou choc des corps. Paris 1677.)

begreifliches. Könne doch dasselbe Stoffteilchen mehrere Wellen fortpflanzen, die von verschiedenen oder sogar von entgegengesetzten Seiten kommen. Und zwar geschehe dies nicht nur, wenn das Teilchen durch rasch aufeinanderfolgende Stöße, sondern auch, wenn es durch Stöße getroffen werde, die in demselben Augenblicke darauf einwirken. Als Beweismittel führt Huygens den schon oben erwähnten, aus elastischen Kugeln bestehenden Apparat ins Feld. Wenn man nämlich gegen die ruhenden Kugeln von entgegengesetzten Seiten in demselben Augenblicke ähnliche Kugeln A und D stoße, so werde man jede Kugel mit derselben Geschwindigkeit, die sie beim Aufprall hatte, zurückschnellen und die ganze Reihe an ihrer Stelle verharren sehen, obgleich die Bewegung vollständig und zwar zweimal durch sie hindurchgegangen sei. Zwar könne es unglaublich erscheinen, daß die durch die Bewegung so kleiner Körperchen hervorgebrachten Wellen sich auf so ungeheure Entfernungen fortzupflanzen vermögen, wie von der Sonne oder den Fixsternen bis zur Erde. Doch auch dies Bedenken weiß Huygens zu beseitigen. Wenn sich nämlich auch die Kraft dieser Wellen in dem Maße abschwäche, in welchem sie sich von ihrem Ursprunge entfernen, so müsse man doch erwägen, daß in einer großen Entfernung vom leuchtenden Körper eine Unzahl von Wellen sich vereinigen. „Die unendliche Zahl von Wellen, die in demselben Augenblicke von allen Punkten eines Fixsternes, etwa eines so großen wie die Sonne, herkommen, bilden nur eine einzige Welle, die auch genügend Kraft besitzen wird, um auf unsere Augen Eindruck zu machen".

Hinsichtlich der Fortpflanzung dieser Wellen sei ferner zu bedenken, daß jedes Teilchen des Stoffes, in welchem eine Welle sich ausbreitet, nicht nur dem nächsten Teilchen, das in der von dem leuchtenden Punkte aus gezogenen geraden Linie liegt, seine Bewegung mitteilen muß, sondern allen übrigen, die es berühren und sich seiner Bewegung widersetzen. Daher muß sich um jedes Teilchen eine Welle bilden, deren Mittelpunkt dieses Teilchen ist. Wenn also DCF (s. Abb. 76) eine Welle sei, die von dem leuchtenden Punkte A als Zentrum ausgegangen ist, so werde das Teilchen B, das zu den von der Kugel DCF umschlossenen gehört, seine die Welle DCF in C berührende besondere Welle KCL in demselben Augenblicke gebildet haben, in welchem die von A ausgesandte Hauptwelle in DCF angelangt sei. Ferner sei klar, daß die Welle KCL die Welle DCF eben nur in dem Punkte C berühre, d. h. in demjenigen, welcher auf der durch AB gezogenen Geraden

liegt. Auf dieselbe Weise bilde jedes andere Teilchen innerhalb der Kugel DCF wie bbdd usw. seine eigene Welle. Jede dieser Wellen sei indessen nur unendlich klein im Vergleich zur Welle DCEF, zu deren Bildung alle übrigen mit demjenigen Teile ihrer Oberfläche beitragen, der von dem Mittelpunkte A am weitesten entfernt sei. — Ferner könne der Wellenteil BG (Fig. 76), welcher den leuchtenden Punkt A zum Mittelpunkt hat, sich nur bis zu dem von den Geraden ABC uud AGE begrenzten Bogen CE ausbreiten. Obgleich nämlich die Einzelwellen, welche durch die im Raume CAE enthaltenen Teilchen erzeugt werden, auch außerhalb dieses Raumes sich ausbreiten müßten, so träfen sie doch nirgends sonst, als eben nur in dem Bogen CE im nämlichen Augenblicke zusammen, um eine die Bewegung abgrenzende Welle

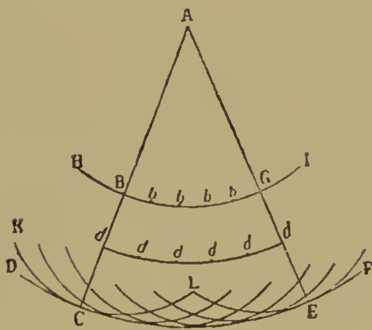


Abb. 76. Erläuterung des Huygensschen Prinzips.

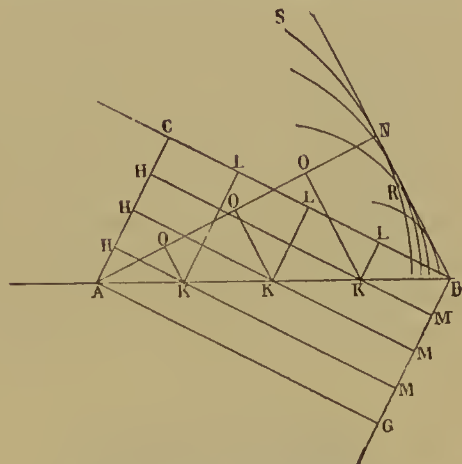


Abb. 77. Huygens erklärt die Reflexion des Lichtes.

zu bilden. Hierin liegt für Huygens auch der Grund, weshalb sich das Licht. sofern seine Strahlen nicht zurückgeworfen oder gebrochen werden, nur in geraden Linien fortpflanzt, so daß es einen jeden Gegenstand nur dann beleuchtet, wenn der Weg von seiner Quelle bis zu diesem Gegenstande längs solcher Linien offen steht. Denn wenn beispielsweise eine Öffnung BG vorhanden wäre, welche durch undurchsichtige Körper begrenzt ist, so würden die von dem Punkte A kommenden Wellen immer durch die Geraden AC und AE begrenzt sein, da diejenigen Teile der Einzelwellen, die sich über den Raum ACE hinaus ausbreiten, zu schwach seien, um daselbst Licht hervorzubringen.

Die Erscheinungen der Reflexion und der Brechung vermag Huygens aus seinem soeben entwickelten Prinzip ohne Schwierig-

keiten abzuleiten. A B sei eine polierte Fläche (Abb. 77), A C ein Teil einer Lichtwelle, deren Mittelpunkt soweit entfernt sei, daß A C als gerade Linie betrachtet werden kann. Die Einzelwellen, die von den Punkten K K K ausgehen, werden dann in einem bestimmten Augenblicke durch die gemeinschaftliche Tangente B N begrenzt. Aus der Figur (Abb. 77) ersieht man, daß die Winkel C B A und N A B gleich sind, somit das Reflexionsgesetz bewiesen ist [1]).

Ebenso leicht erklärt Huygens aus seinem Prinzip unter der Annahme, daß das Licht in den durchsichtigen Körpern eine Verminderung seiner Geschwindigkeit erleidet, die einfache Brechung. Daß die Körper keine kontinuierliche Masse bilden, sondern aus nebeneinander gelagerten Teilchen bestehen, schließt Huygens daraus, daß der Magnetismus und die Schwerkraft, die für ihn noch materieller Natur sind, durch feste Körper hindurch wirken. Die verbleibenden Zwischenräume sollen durch die Teilchen des Äthers ausgefüllt sein. Beim Durchgang des Lichtes durch Körper sind aber nicht nur die Äther-, sondern auch die Körperteilchen in Bewegung und aus der geringeren Elastizität der letzteren erkläre sich die Verlangsamung der Lichtwellen [2]). Es erhebt sich nun die Frage, weshalb nicht alle Körper durchsichtig sind, da doch der Äther ihre Poren erfüllt. Huygens begegnet dieser Schwierigkeit durch die Annahme, daß gewisse Körperteilchen dem Äther gegenüber nachgiebig seien, ihre Gestalt unter dem Druck des Äthers verändern und so die Bewegung des Äthers vernichten.

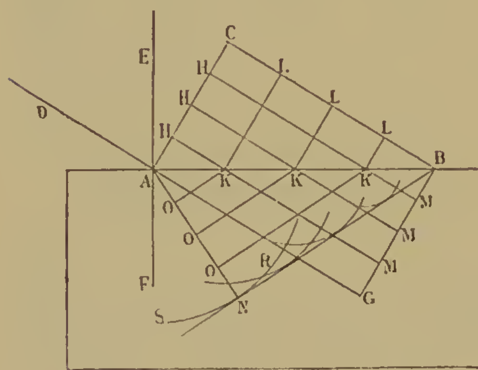


Abb. 78. Huygens leitet aus seinem Prinzip das Brechungsgesetz ab.

Wir sehen, wie Huygens die von der neueren Philosophie, insbesondere von Descartes und Gassendi, begründete Korpuskulartheorie auszubauen und den Zwecken der Naturerklärung dienstbar zu machen wußte. Huygens nahm in der Entwicklung dieser Theorie eine abschließende Stellung ein, indem er ihr den Wert einer wissenschaftlichen, kinetischen Atomistik zu verleihen wußte [3]). Sehen wir nun, wie Huy-

1) Ostwalds Klassiker Nr. 20. S. 26.
2) Ostwalds Klassiker Nr. 20. S. 34.
3) Lasswitz, Geschichte der Atomistik 1890, II. 376.

gens das Verhalten des Lichtstrahls beim Eindringen in durchsichtige Körper aus seinen Prinzipien zu erklären suchte. A B (Abb. 78) sei die Grenze des durchsichtigen Köpers. A C sei ein Wellenteil einer Lichtquelle, die soweit entfernt sei, daß A C als gerade Linie angenommen werden kann. Es mögen sich ferner die Geschwindigkeiten außerhalb und innerhalb des Körpers wie 3 : 2 verhalten. Dann wird sich in der Zeit, welche das Licht gebraucht, um von C nach B zu gelangen, um A in dem Körper eine Welle gebildet haben, welche durch BN begrenzt wird, und zwar wird das Stück A N nach der Voraussetzung zwei Drittel von A G sein. Indessen auch um die Punkte K K K bilden sich Einzelwellen, welche durch Kreise dargestellt werden, deren Halbmesser zwei Drittel der entsprechenden Verlängerungen K M, K M, K M betragen. Alle diese Kreise haben nun B N zur gemeinschaftlichen Tangente. Letztere begrenzt die Bewegung und ist somit die Fortsetzung der Welle A C für den Augenblick, in welchem sie von C nach B gelangt ist. Die Lichtgeschwindigkeiten C B und A N, die für diesen Fall = 3 : 2 angenommen wurden, verhalten sich auch wie der Sinus von E A D zum Sinus von F A N, so daß die Konstruktion mit dem Brechungsgesetz in vollkommenem Einklang steht.

Weit größere Schwierigkeiten machte es, aus dem Prinzip der Elementarwellen die um die Mitte des 17. Jahrhunderts am isländischen Spat entdeckte Doppelbrechung abzuleiten. Die be-

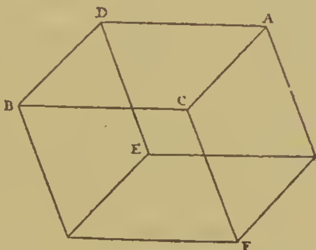


Abb. 79. Huygens untersucht den Doppelspat.

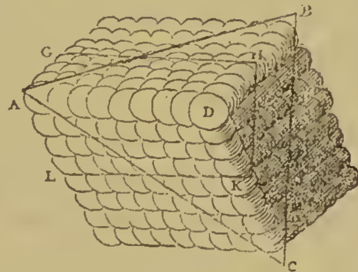


Abb. 80. Huygens erläutert den Aufbau des Doppelspats.

treffende Untersuchung von Huygens bildet, wie sein Herausgeber sich ausdrückt, den Glanz- und Mittelpunkt des ganzen Werkes und ist ein unübertroffenes Muster des Zusammenwirkens experimenteller Forschung und scharfsinniger Analyse.

Huygens war bei dem Aufsehen, welches Bartholins Schrift über den Doppelspat[1]) erregt hatte, zu seiner Untersuchung

[1]) Experimenta crystalli islandici disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur. Havniae 1669.

geradezu gezwungen, weil die neuentdeckte wunderbare Erscheinung seine Erklärung der gewöhnlichen Brechung umzustürzen schien. Das Ergebnis war, daß sich die Doppelbrechung auf das gleiche Grundgesetz zurückführen und somit zur Bestätigung desselben verwerten ließ.

Huygens begab sich zunächst an eine Nachprüfung der von Bartholin gefundenen Ergebnisse. Die Winkel C, D (Abb. 79) des Rhomboeders fand er gleich 101° 52′, die Winkel A, B dagegen gleich 78° 8′.

Um die Form und die Spaltbarkeit und weiterhin auch die optischen Eigenschaften des Doppelspats zu erklären, unternahm Huygens einen für die weitere Entwicklung der mineralogischen Wissenschaft außerordentlich wichtigen Schritt. Er stellte sich nämlich vor, daß der Kristall aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt sei. Indem er dann weiter über die Form und die Lagerung dieser Teilchen gewisse Annahmen machte, gelang es ihm, aus diesen Annahmen die beobachteten Erscheinungen vollständig abzuleiten. Huygens nahm an, die Teilchen des Kristalles seien Sphäroide, wie sie durch die Umdrehung einer Ellipse um deren kleinere Achse entstehen. Verhalten sich die Achsen dieser Sphäroide wie $1 : \sqrt{8}$ und setzt man eine größere Zahl solcher Sphäroide in der in Abb. 80 angegebenen Weise zusammen, so ergeben sich die aus der Beobachtung gefundene Form mit den an ihr gefundenen Winkel- und Spaltungsverhältnissen. Wären nämlich die Sphäroide durch ein Bindemittel (im Modell könnte man die in der Natur zwischen den Sphäroiden wirkenden Anziehungen durch Zusammenleimen ersetzen) verbunden, so würde sich der aus ihnen aufgebaute Körper nach Flächen spalten, welche den die Ecken bildenden Flächen parallel sein müßten. Jedes Sphäroid würde sich nämlich von nur drei Sphäroiden der benachbarten Schicht losreißen, während es sich von sechs Sphäroiden trennen müßte, um die Schicht zu verlassen, der es selbst angehört.

Da Huygens die Entdeckung machte, daß auch der Bergkristall das Licht doppelt bricht, nahm er für dieses Mineral einen ähnlichen Aufbau an. Derartige Spekulationen über den regelmäßigen Aufbau der Kristalle aus gleichartigen Teilchen von bestimmter Form sind, wie wir sehen werden, erst im 19. Jahrhundert durch Hauy wieder aufgenommen und auf sämtliche Kristallformen ausgedehnt worden.

Über die Entdeckung der viel weniger auffallenden Doppelbrechung des Bergkristalls macht Huygens folgende Mitteilung:

Er habe aus dem Material nach verschiedenen Richtungen Prismen schneiden und diese gut polieren lassen. Als er durch solche Prismen nach einer Kerzenflamme blickte, erschien ihm diese doppelt. Jetzt war auch die Tatsache aufgeklärt, daß sich der so durchsichtige Bergkristall für Fernrohre von einiger Länge als unbrauchbar erwiesen hatte.

Wie die Form und die Spaltbarkeit des Doppelspats durch die Annahme kleiner Sphäroide verständlich wird, so lassen sich die optischen Eigenschaften nach Huygens aus sphäroidischen Lichtwellen erklären, welche in ihrer Lage mit den Körperteilchen übereinstimmen, so daß der Aufbau des Kristalls als die Ursache sämtlicher geometrischen und physikalischen Eigenschaften erscheint[1]. Es würde indessen zu weit führen, wenn wir den Gang dieser Untersuchung eingehender verfolgen wollten. Es genügt hier, die Fortpflanzung in sphäroidischen Wellen für das Licht zu betrachten, das senkrecht auf die Fläche des Kristalles trifft und trotzdem abgelenkt wird. Solche Wellen werden sich bilden, wenn sich das Licht „in der einen Richtung etwas schneller als in der anderen ausbreitet.“ A B (Abb. 81) sei die Grenze zwischen dem Kristall und der Luft, R C sei ein Wellenteil des Lichtes. Der Strahl treffe den Kristall in A K K B. Von diesem Punkte gehen aber nicht, wie es sonst die Regel ist, halbkugelförmige, sondern halbsphäroidische Einzelwellen aus, deren große Achsen, wie z. B. V A X, gegen die Ebene A B geneigt sind. Um Punkt A wird sich z. B. nach Ablauf eines gewissen Zeit-

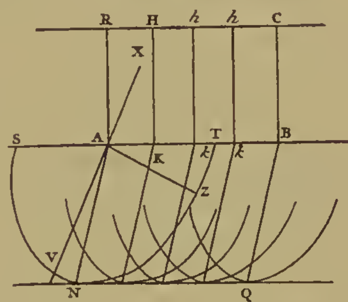


Abb. 81. Huygens erklärt die Doppelbrechung.

[1]) Huygens hatte wie Bartholin gefunden, daß das Licht, welches in einen Doppelspatkristall eindringt, im allgemeinen zwei Brechungen erleidet, von denen die eine dem von Snellius gefundenen Gesetze folgt, nach welchem der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels in einem bestimmten Verhältnis steht. Dies Verhältnis ermittelten Bartholin und Huygens übereinstimmend gleich 5 : 3. Es blieb für alle Neigungen stets dasselbe, während sich dies Verhältnis für den zweiten, außergewöhnlichen Strahl mit der Neigung des einfallenden Strahles änderte. Um das Auftreten beider Strahlen zu erklären, mußte Huygens annehmen, daß sich ein Teil des Lichtes nach dem Eintreten in den Kristall in kugelförmigen Wellen fortpflanze, ein anderer dagegen in sphäroidischen. Ferner galt es, für den durch letztere bewirkten Strahl ein dem von Snellius ermittelten analoges Gesetz zu finden, was Bartholin nicht vermocht hatte.

teilchens ein halbes Sphäroid SVNT gebildet haben, welches die vom Punkte A ausgehende Einzelwelle darstellt. Um die Punkte k, k, B bilden sich in derselben Zeit gleiche und ähnlich wie SVNT liegende Einzelwellen, deren gemeinsame Tangente NQ analog der früheren Betrachtungsweise wieder die in dem Kristall befindliche Fortsetzung der Welle RC ist, denn diese Linie begrenzt in demselben Augenblicke die Bewegung, welche von der auf AB treffenden Welle RC herrührt. Diese gemeinsame Tangente NQ ist zwar AB parallel und an Länge gleich, sie liegt aber nicht AB genau gegenüber. „Jetzt verstand ich“, sagt Huygens, „daß die an der Öffnung AB anlangende Welle RC fortfährt, sich von dort zwischen den Parallelen AN und BQ fortzupflanzen.“

Wie Huygens dann die Lage und das Achsenverhältnis der Sphäroide ergründet und unter der Annahme halbsphäroidischer Einzelwellen durch eine Tangentenkonstruktion ähnlich derjenigen, die wir in Abb. 78 kennen gelernt haben, den Gang des außergewöhnlichen Strahles für schräg einfallendes Licht findet, muß in seiner Abhandlung selbst nachgesehen werden[1]).

Aus der Konstruktion ergibt sich außer der zuerst betrachteten Anomalie, daß senkrecht auffallendes Licht gebrochen wird, auch die Notwendigkeit, daß es schräg einfallende Strahlen geben muß, welche durch den Doppelspat hindurchgehen, ohne eine Brechung zu erleiden. In Übereinstimmung mit der Rechnung ergab die Erfahrung, daß sich so der Strahl verhält, welcher die Fläche des Kristalls unter einem Winkel von 73° 20′ trifft[2]). Kurz, Huygens fand, daß jede Erscheinung, welche er aus seiner Hypothese abzuleiten vermochte, mit der Beobachtung übereinstimmte, ein „nicht gering zu veranschlagender Beweis“ für die Richtigkeit seiner Voraussetzungen.

Nachdem Huygens seine Untersuchungen der optischen Eigenschaften des Doppelspats bis zu diesem Punkte gefördert hatte, entdeckte er noch „eine wunderbare Erscheinung“, welche er aus seiner Theorie nicht abzuleiten vermochte, nämlich die Polarisation des Lichtes durch Doppelbrechung. Er beschreibt diese Entdeckung in folgender Weise. Nimmt man zwei Stücke des Kristalls und legt sie so aufeinander, daß alle Seiten des einen denjenigen des anderen parallel sind, so wird der Strahl AB, welcher in dem ersten Stück in die beiden Strahlen BD und BC zerlegt wird, beim Eintritt in das zweite Stück sich nicht

1) Ostwalds Klassiker Nr. 20. S. 61.
2) Ostwalds Klassiker Nr. 20. S. 65.

noch einmal spalten. Es wird vielmehr der von der regelmäßigen Brechung herrührende Strahl DG noch eine regelmäßige Brechung, der außergewöhnliche Strahl eine unregelmäßige Brechung erleiden (Abb. 82). Dies geschieht immer, wenn die Hauptschnitte beider Rhomboeder in ein- und derselben Ebene liegen, auch wenn die Seitenflächen der Rhomboeder gleichzeitig gegeneinander geneigt sind.

Ordnete Huygens die beiden Kristalle dann in der Weise an, daß ihre Hauptschnitte sich rechtwinklig schnitten, so erlitt der gewöhnliche Strahl ABDG in dem zweiten Kristall nur die eine, aber außergewöhnliche Brechung GH, der außergewöhnliche Strahl aber nur die eine und zwar gewöhnliche Brechung EF.

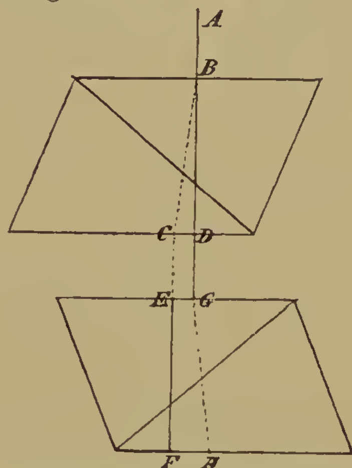


Abb. 82. Huygens entdeckt die Polarisation durch Doppelbrechung.

In allen Zwischenstellungen endlich teilten sich die Strahlen beim Eintritt in den unteren von neuem in je zwei, so daß aus dem ursprünglich einzigen Strahl AB vier Strahlen entstanden. Diese vier Strahlen sind, wie Huygens fand, je nach der Stellung der Kristalle bald von gleicher, bald von verschiedener Helligkeit, jedoch so, daß sie „alle zusammen anscheinend nicht mehr Licht enthalten, als der eine Strahl AB."

Wenn Huygens sich auch nicht an eine Erklärung dieser von ihm gemachten, höchst wichtigen Entdeckung heranwagt, so macht er doch darüber eine sehr zutreffende Bemerkung, welche denjenigen, die sich später mit dem Problem beschäftigten, einen wertvollen Fingerzeig bot. Huygens bemerkt nämlich, die Lichtwellen erhielten offenbar bei ihrem Durchgang durch den ersten Kristall eine gewisse Anordnung, durch welche ihr Verhalten in dem zweiten Kristall bestimmt werde. Welcher Art aber die Anordnung sei, dafür habe er keine befriedigende Erklärung finden können. Die von Huygens als Polarisation bezeichnete Erscheinung blieb als vereinzelte Sonderbarkeit fast unbeachtet, bis Malus nach mehr als einem Jahrhundert entdeckte, daß das Licht auch durch Reflexion polarisiert werden kann[1]). Die Polarisation mußte solange jedem Erklärungsversuche widerstreben, wie man

[1]) Siehe an späterer Stelle dieses Werkes.

mit Huygens stillschweigend annahm, daß die Lichtschwingungen gleich denjenigen des Schalles longitudinal seien. Erst nachdem man diese Annahme aufgegeben, gelang der Undulationstheorie, wie uns die weitere Entwicklung lehren wird, die Erklärung sämtlicher optischen Erscheinungen.

Auch auf eine Erklärung der Farben hat Huygens verzichtet. Ihre Entstehung wird in seiner Abhandlung nirgends gestreift. Dieser Umstand wird viel dazu beigetragen haben, daß die Wellentheorie zunächst der Emissionstheorie ihre Herrschaft nicht streitig zu machen vermochte. Die wenige Jahre vor der Entstehung seiner Abhandlung von Grimaldi (1665) entdeckte Beugung des Lichtes scheint Huygens damals noch nicht gekannt zu haben, da er sie nirgends erwähnt.

Descartes war der erste Physiker, der eine Farbenlehre schuf, welche von der bisher gültigen Meinung des Aristoteles, nach welcher die Farben durch Mischung von Licht und Dunkelheit entstehen sollten, abwich. Für ihn ist Ausdehnung ein Attribut des Körperlichen und Ausdehnung ohne Materie nicht denkbar. Der kosmische Raum ist demgemäß mit einer außerordentlich feinen Materie erfüllt, welche auch die Zwischenräume der aus gröberem Stoff gebildeten, unseren Sinnen sich offenbarenden Materie erfüllt. Dieser feine Stoff befindet sich nach Descartes als Ganzes und auch in seinen einzelnen Teilchen in einer rotierenden Bewegung. Die großen Wirbel sind die Ursache der Planetenbewegung, während die verschieden großen Teilrotationen die Verschiedenartigkeit der Farben bedingen. Der Lichtstrahl selbst besteht nur in einem Druck auf die den kosmischen Raum erfüllenden Elementarteilchen, und ein solcher Druck braucht, weil er ja nur Tendenz zur Bewegung und nicht Bewegung selbst ist, zu seiner Fortpflanzung keine Zeit. Das Auge aber empfindet diesen Druck als Licht und die Rotationsbewegung der Elementarteilchen, welche unter dem Einfluß dichter optischer Medien überdies Änderungen erleidet, die zum Zustandekommen des Spektrums führen, als Farben.

Descartes' Theorie fand zwar keine Annahme. Sie erregte aber als der erste Versuch, die Lichterscheinungen mechanisch zu erklären, die Aufmerksamkeit aller zeitgenössischen Physiker. Auch Boyle und Newton haben sich mit ihr auseinander gesetzt.

Von gleicher Bedeutung wie seine Leistungen auf dem Gebiete der Optik waren Huygens' Arbeiten auf dem Felde der Mechanik, wenn es sich auch hier nur um ein Fortbauen auf den von Galilei herrührenden Grundlagen handeln konnte. Knüpfte

Newton an Galileis Untersuchungen über den Wurf an, so entwickelte Huygens die Theorie des Pendels, für welches der große Meister nur die fundamentalen Gesetze aufgefunden hatte, bis in alle Einzelheiten. Dabei wandte er in seinem 1673 erschienenen Werke über die Pendeluhr[1], das den „Prinzipien“ Newtons als ebenbürtig an die Seite gestellt werden kann, die Geometrie in solch bewunderungswürdiger Weise auf mechanische Probleme an, daß Newton sehr wahrscheinlich durch die Mustergültigkeit der Huygensschen Darstellung bewogen wurde, sich in dem genannten Hauptwerk gleichfalls geometrischer Beweise zu bedienen, anstatt der höheren Analysis, in deren Besitz er sich damals schon befand, den Vorzug einzuräumen[2].

Die Frage der Einführung eines genauen Zeitmaßes war im Verlauf des 17. Jahrhunderts, in welchem so große Dinge auf den Gebieten der Astronomie und der Physik geschahen, zu einer brennenden geworden. Der weitere Fortschritt dieser Wissenschaften mußte wesentlich von der Einführung eines solchen abhängen. Wir sahen, daß noch Galilei sich bei seinen Fallversuchen einer Art Wasseruhr bediente[3]. Da Galilei mit Hilfe dieser Vorrichtung die Schwingungsdauer eines und desselben Pendels als konstant erwies, so mußte er auf den Gedanken kommen, sich dieses so viel einfacheren Mittels als Zeitmaß zu bedienen. Galilei hatte sogar die Idee, das Pendel mit einem Zählwerk zu verbinden[4]. Das Ei des Columbus bestand nun darin, den wiederholten Anstoß seitens der Hand, den die von Galilei ersonnene Vorrichtung erforderte, durch die ununterbrochen wirkende Kraft eines fallenden Gewichtes zu ersetzen. Hierin besteht die Erfindung des großen Huygens, auf welche er 1667, im 28. Jahre seines Lebens, ein Patent nahm.

Während man sich im Altertum, sowie im früheren Mittelalter nur der Sonnen- und der Wasseruhren bedient hatte, kamen seit dem 11. Jahrhundert Räderuhren mit Gewichten auf. Später

[1] Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum. Paris 1673.

[2] Im Besitze der Grundzüge seines unter dem Namen der Fluxionsrechnung bekannt gewordenen analytischen Verfahrens befand sich Newton schon im Jahre 1666. Siehe Cantor, Geschichte der Mathematik. Bd. III. S. 150 u. f.

[3] Siehe Seite 45 ds. Bds.

[4] Das von Viviani herrührende Modell dieser Vorrichtung existiert noch im Galilei-Museum zu Florenz. Siehe Günther, Vermischte Untersuchungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. 1876. Seite 316.

wurden diese Uhren auch mit einem Schlagwerk in Verbindung gesetzt. In der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts gab es derartige Turmuhren schon in vielen Städten. Ihre Regulierung erfolgte durch Windflügel, wie sie noch heute bei den Spielwerken gebräuchlich sind, oder durch eine horizontale, mit Gewichten beschwerte Stange. Ihr Gang war jedoch so ungenau, daß ein Wärter ihn überwachen und nach der Sonne und den Sternen regeln mußte.

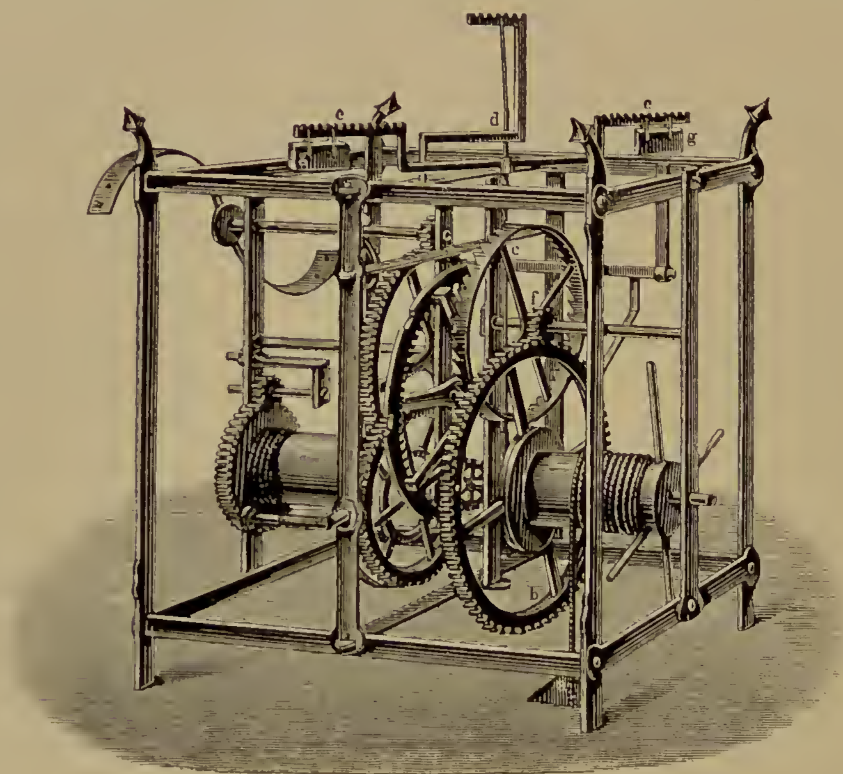


Abb. 83. Im South-Kensington Museum (London) aufbewahrte Turmuhr aus dem 14. Jahrhundert.

Die nebenstehende Abbildung zeigt uns wohl die älteste der noch erhaltenen Turmuhren. Sie hat von 1348—1872 in Dover Castle die Stunden angegeben. Das nicht mit abgebildete Gewicht hängt am Seile a und dreht zunächst das Zahnrad b. Dieses setzt vermittelst des Zahngetriebes das Sperrad c in Bewegung, das seinerseits mit der senkrechten Achse d eines Horizontalpendels in Verbindung steht. Letzteres wird durch Laufgewichte zu schnellerem oder langsamerem Schwingen veranlaßt und erhält seinen Antrieb durch zwei an seiner Achse d befindliche Platten, welche um den Durchmesser des Sperrades von einander entfernt sind und abwechselnd in dessen Zähne eingreifen.

Die dem Werke des Huygens entnommene Abbildung 84 zeigt den von ihm angewandten Mechanismus. Er bestand in der Verbindung eines horizontalen, gezähnten Rades K mit einer horizontalen Achse, deren Schaufeln LL abwechselnd zwischen die Zähne eingriffen. Über D war eine Schnur gewickelt, welche das Gewicht trug. Die heute gebräuchliche Ankerhemmung wurde erst später erfunden[1]).

Galilei hatte die Analogie der Pendelbewegung mit dem Fall über die schiefe Ebene nachgewiesen. Huygens verallgemeinerte diese Betrachtung, indem er den Fall durch eine beliebige Kurve auf eine Folge von Bewegungen auf geneigter Ebene zurückführte. Er fand, daß unter den von ihm untersuchten Linien eine vorhanden war, in welcher die Fallbewegung im luftleeren Raum vollkommen isochron verläuft. Es war dies nicht der Kreisbogen, für den Galilei die Isochronie der Schwingungen nachgewiesen zu haben glaubte, sondern die Cykloide. Der tiefste Punkt B der Cykloide ABC (siehe Abb. 85) wird näm-

Abb. 84. Huygens' Abbildung der von ihm erfundenen Pendeluhr[2]).

[1]) Der Londoner Uhrmacher Clement erfand die Ankerhemmung im Jahre 1680.

[2]) Christiani Hugenii, Horologium oscillatorium. Paris MDCLXXIII, pag. 4. Fig. 1.

lich, wenn ein Körper in dieser Kurve fällt, stets in derselben Zeit erreicht, von welchem der zwischen A und B gelegenen Punkte die Bewegung auch beginnen mag [1]).

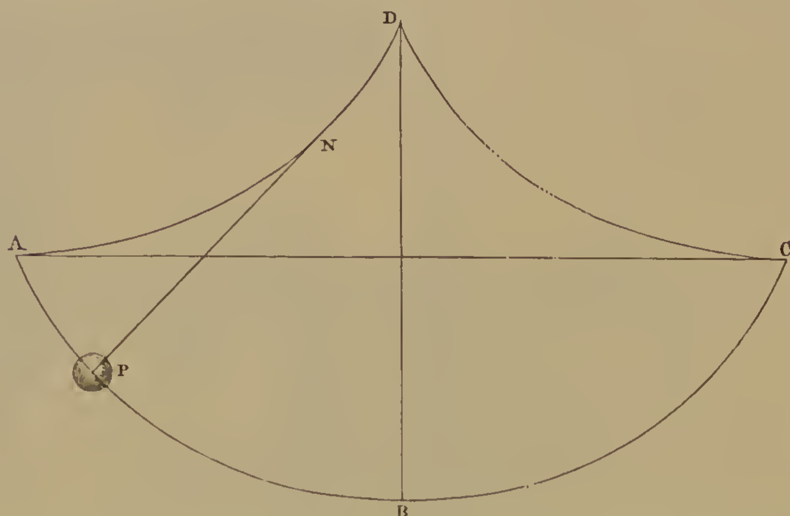


Abb. 85. Huygens beweist, daß die Schwingungen in der Cykloide isochron erfolgen [2]).

Dieses Ergebnis seiner mathematischen Untersuchung wußte Huygens auch praktisch zu verwerten. Um dem Pendel anstatt der Kreis- die Cykloidenbewegung zu erteilen, kam es darauf an, daß der Faden, welcher bei dem Kreispendel in jeder Stellung eine gerade Linie bildet, gezwungen wird, sich an eine Kurve von bestimmter Gestalt anzuschmiegen. Die Untersuchung ergab, daß diese Kurve gleichfalls eine Cykloide sein muß. In der Abbildung 85 stimmen dementsprechend die Cykloidenstücke AD und CD mit den Stücken AB und BC überein. Abbildung 86 zeigt uns die von Huygens für sein Cykloidenpendel vorgeschlagene Einrichtung. Sie besitzt zwei feste, cykloidisch gekrümmte Backen, denen sich der obere fadenförmige Teil des Pendels anschmiegt. Praktische Verwendung hat das Cykloidenpendel selten gefunden, da das Kreispendel nach Ein-

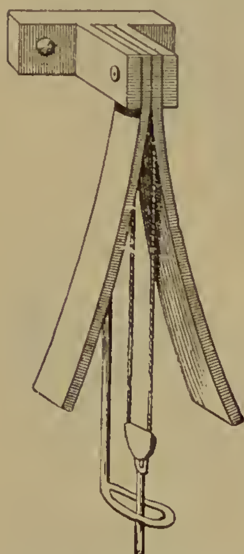


Abb. 86. Huygens' Cykloidenpendel [3]).

1) Horologium oscillatorium, Pars II.
2) Horologium oscillatorium, Fig. auf S. 12
3) Horologium oscillatorium, pag. 4. Fig. II.

führung der Ankerhemmung und bei Anwendung kleiner Ausschläge den hinsichtlich der Genauigkeit des Ganges zu stellenden Anforderungen entspricht.

Die Taschenuhr versah Huygens (siehe Abb. 87) mit der noch jetzt gebräuchlichen Unruhe[1]). Ferner entwickelte er die Theorie des konischen oder Zentrifugalpendels[2]), das in einem horizontalen,

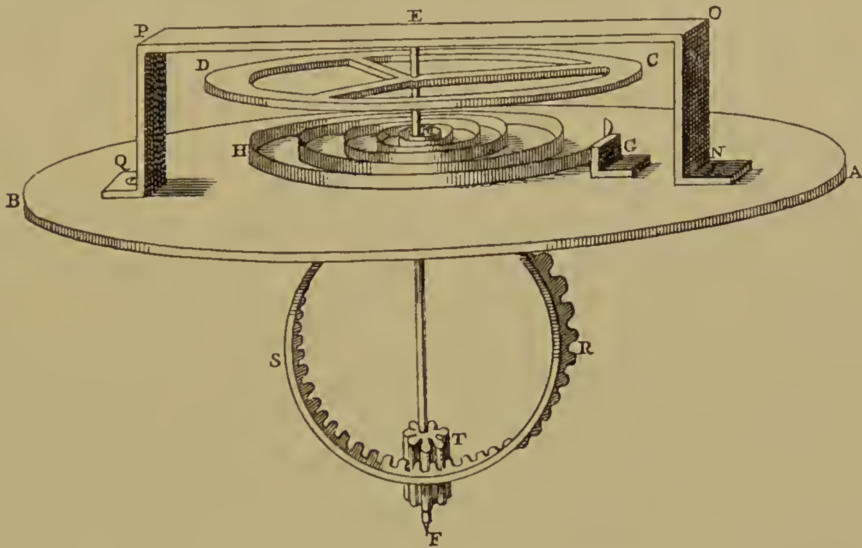


Abb. 87. Huygens' Unruhe.

vollen Kreise schwingt, während gleichzeitig der Faden die Kegelfläche beschreibt, eine Vorrichtung, welche später Watt als Regulator der von ihm verbesserten Dampfmaschine verwendet hat.

Fügen wir noch hinzu, daß Huygens die Länge des Sekundenpendels zum erstenmal genauer bestimmte (er fand sie gleich 3,0565 Pariser Fuß), daß er ferner die Formel für die Pendelbewegung[3]) und daraus die Beschleunigung für den freien Fall

---

1) Diese Erfindung wurde veröffentlicht im Journal des savants vom 25. Februar 1675.

2) Horologium oscillatorium, Pars V. Eine zusammenfassende Arbeit über die Geschichte der Erfindung der Pendeluhr lieferte E. Gerland in Wiedemanns Annalen, Bd. 4, Seite 585—613.

Gerland schreibt Galilei das Verdienst zu, die Pendeluhr schon 1641, also 15 Jahre vor Huygens erfunden zu haben. Beide Männer seien unabhängig voneinander darauf gekommen. Von Galileis Apparat existiert jedoch nur ein Entwurf. Er ist zehn Jahre nach Galileis Tode nur unvollkommen zur Verwirklichung gelangt. (Siehe Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. S. 121.)

3) $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

ableitete, so erkennen wir, mit welcher Fülle neuer Entdeckungen die Wissenschaft durch ihn bereichert wurde.

Die Beschleunigung g für den freien Fall oder die Acceleration der Schwerkraft ergab sich, indem man in die Pendelformel $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ für l die Werte für das Sekundenpendel (t = 1 und l = 3,0565) einsetzte und sie dann nach g auflöste: $1 = \pi \sqrt{\frac{3,0565}{g}}$; $g = \pi^2 . 3,0565 = 30,1666$ Pariser Fuß, wofür Huygens 30 Fuß 2 Zoll setzte.

Den Wert, den Huygens in Paris für die Länge des Sekundenpendels ermittelt, brachte er, ohne jedoch den Beifall seiner Zeitgenossen zu finden, als Einheit für das Längenmaß in Vorschlag.

Huygens' Bedeutung ist hiermit bei weitem noch nicht erschöpft. Die bisher gestreiften Leistungen auf dem Gebiete der Mechanik waren nämlich entweder praktischer Art, oder sie bestanden in der Betrachtung des einfachen Pendels, worunter ein materieller Punkt verstanden wird, der an einem gewichtslosen Faden schwingt. Bald nachdem die Untersuchungen Galileis in den nördlichen Ländern Europas bekannt geworden waren, hatte ein französicher Gelehrter[1]) die Frage aufgeworfen, nach welchen Gesetzen denn die Schwingungen beliebig gestalteter Körper vor sich gingen. Descartes und andere scharfsinnige Mathematiker, darunter auch der damals 17 Jahre alte Huygens, nahmen das Problem in Angriff, ohne eine Lösung finden zu können. Descartes gab zwar eine schärfere Formulierung. „Wie es einen Schwerpunkt in allen frei herabfallenden Körpern gibt", sagt er, „so haben alle Körper, die sich vermöge der Schwere um irgend einen Punkt bewegen, einen Agitationspunkt; und alle Körper, bei welchen dieser Agitationspunkt gleich weit von dem Aufhängepunkt entfernt ist, machen ihre Hin- und Hergänge in derselben Zeit". Die Bestimmung dieses Agitations-, Oszillations- oder Schwingungsmittelpunktes gelang indes erst Huygens, der seine Methode, 27 Jahre nachdem die Frage aufgeworfen war, in seinem Horologium oscillatorium bekannt machte.

Man nehme außer dem materiellen Punkt, welcher das einfache Pendel bildet, auf der Pendellinie noch einen zweiten Punkt an, der mit dem ersten in fester Verbindung steht (siehe Abb. 88).

---

1) Der gelehrte, mit den hervorragendsten Männern seiner Zeit in Briefwechsel stehende Pater Mersenne (1588—1648).

Sucht man nun die Länge ox desjenigen einfachen Pendels zu bestimmen, das die gleiche Schwingungszeit wie das System a b besitzt, so hat man das Problem des Schwingungsmittelpunktes in seiner einfachsten Form. Der Punkt b wird durch a gehemmt, a durch b dagegen beschleunigt. Mithin wird der Punkt b langsamer und der Punkt a schneller schwingen, als sie es für sich allein tun würden, und es muß zwischen b und a einen Punkt geben, welcher die gleiche Schwingungszeit besitzt wie das System a b.



Abb. 88. Das Problem des Schwingungsmittelpunktes.

Es entsteht nun die Frage, wie sich bei einem physischen, aus unendlich vielen Massenteilchen zusammengesetzten Pendel die Bewegungen der untereinander in fester Verbindung stehenden Teile zu einer Gesamtbewegung zusammensetzen. Die Lösung dieses Problems des physischen oder zusammengesetzten Pendels ist ohne Frage die bedeutendste Leistung, welche Huygens auf dem Gebiete der theoretischen Mechanik vollbrachte. Er widmet dem Problem den vierten Teil des Horologium oscillatorium. Vorausgeschickt werden einige Erklärungen, darunter vor allem die Definition des Schwingungsmittelpunktes. Sie lautet: „Als Schwingungs- oder Oszillationszentrum einer beliebigen Figur wird derjenige Punkt auf der Schwerelinie bezeichnet, der soweit von der Schwingungsachse entfernt ist, wie die Länge des einfachen Pendels beträgt, das die gleiche Schwingungsdauer wie die Figur besitzt [1].“ Man kann sich also in diesem Punkte die Masse des schwingenden Körpers ebenso konzentriert denken, wie in dem Schwerpunkt die Masse des ruhenden Körpers. Auch in dem Oszillationspunkt sind nämlich die verschiedenen, auf die Teile des Pendels während seiner Schwingung wirkenden Kräfte zu einer Resultierenden vereinigt, wie während der Ruhelage die parallel gerichteten Schwerkräfte sich zu einer Resultierenden zusammensetzen, welche durch einen Punkt des ganzen Systems geht, den wir deshalb als Schwerpunkt bezeichnen. Die Lösung dieses verwickelten Problems gelang nun Huygens auf Grund eines von

[1] Centrum oscillationis vel agitationis figurae cujuslibet, dicatur punctum in linea centri, tantum ab axe oscillationis distans, quanta est longitudo penduli simplicis quod figurae isochronum sit.

ihm aufgestellten Prinzips, das sich sowohl hier als auch in der Folge als eins der allerwichtigsten erwiesen hat. Es lautet in der Fassung seines Begründers: „Wenn irgendwelche schwere Körper vermöge der auf sie wirkenden Schwerkraft sich in Bewegung setzen, so kann ihr gemeinsamer Schwerpunkt nicht höher steigen als er sich zu Beginn der Bewegung befand“ [1]). Huygens erläutert dies Prinzip am Pendel, indem er sagt, nach der Entfernung der Luft und jedweden anderen Hindernisses müsse der Schwerpunkt des bewegten Pendels beim Herabfallen und Emporsteigen stets gleiche Bogen durchlaufen. Damit ist für ihn zugleich die Möglichkeit des Perpetuum mobile, d. h. einer Erzeugung von Kraft ohne einen entsprechenden Aufwand widerlegt. Eine solche Erzeugung aus dem Nichts würde nämlich statthaben, wenn die Masse höher stiege, als sie zuvor gefallen ist.

Aus den Fallgesetzen war bekannt, daß die Höhe, welche die Masse beim Emporsteigen erreicht, proportional ist dem Quadrate der Geschwindigkeit, welche sie beim Herabfallen erlangt. Die Geschwindigkeiten der Massenteilchen des Pendels sind aber den Abständen dieser Teilchen von der Drehungsachse proportional. Mit Hilfe dieser Sätze gelingt Huygens die allgemeine Lösung des Problems vom Schwingungsmittelpunkt. „Man findet seine Entfernung von der Drehachse“, sagt er, „indem man die Summe der Produkte der Massen mit den Quadraten der Abstände von der Drehungsachse durch das Produkt aus der Summe dieser Massen und ihren Abständen von der Drehungsachse dividiert.“ Zur Erläuterung diene die Abbildung 89. Eine Reihe von materiellen Punkten, B, C, D . . ., deren Massen m_1 m_2 m_3 sind, seien zu einem Massensystem verbunden. Ihre Entfernungen von der Drehungsachse A seien a_1, a_2, a_3 . . . Dann ist nach dem von Huygens gefundenen Satze die Entfernung Z des Schwingungspunktes O vom Aufhängepunkte A:

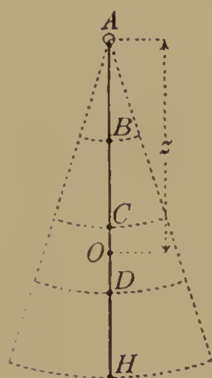


Abb. 89. Huygens löst das Problem des Schwingungsmittelpunktes.

$$Z = \frac{m_1 a^2 + m_2 a_2^2 + m_3 a_3^2 \dots}{m_1 a_1 + m_2 a_2 + m_3 a_3 \dots}$$

oder kürzer ausgedrückt:

1) Si pondera quotlibet, vi gravitatis suae, moveri incipiant, non posse centrum gravitatis ex ipsis compositae altius, quam ubi incipiente motu reperiebatur, ascendere.

$$Z = \frac{\Sigma (m\,a^2)}{\Sigma\, m\,a}$$

Nachdem dann Euler für das Produkt aus der Masse und dem Quadrat ihrer Entfernung von der Drehungsachse die Bezeichnung „Trägheitsmoment“ eingeführt hatte, lautete der Satz von Huygens in der noch heute üblichen Fassung: Man erhält die Entfernung des Schwingungspunktes von der Drehachse eines physischen Pendels, wenn man die Summe der Trägheitsmomente durch die Summe der statischen Momente dividiert.

Der von Huygens ausgesprochene Satz, daß der gemeinschaftliche Schwerpunkt miteinander verbundener, als Ganzes aber isolierter Massen nicht höher steigen kann, als er zuvor durch den Fall herabgesunken ist, wurde später von Johann Bernoulli als ein allgemeines Naturgesetz hingestellt und das „Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kräfte“ genannt. Der letztere Ausdruck stammt wieder von Leibniz her, der unter lebendiger Kraft das Produkt aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit verstand und über den im Weltall vorhandenen Kräftevorrat gleichfalls schon Betrachtungen anstellte.

Auf die Ableitung der Hauptsätze folgt im Horologium oscillatorium die Bestimmung des Schwingungsmittelpunktes für einige geometrische Figuren. Auch darauf machte schon Huygens aufmerksam, daß sich die Schwingungszeit eines Pendels nicht ändert, wenn man es im Schwingungsmittelpunkte aufhängt, und daß in diesem Falle der Punkt, der vorher Aufhängepunkt war, zum Schwingungsmittelpunkte wird. Von ihm rührt also die Idee des Reversionspendels her, das erst im 19. Jahrhundert für die genauere Bestimmung der Länge des Sekundenpendels so wichtig geworden ist.

Am Schlusse seines Werkes über die Pendeluhr bringt Huygens noch die wichtigsten Sätze über die Zentrifugalkraft. Auch hier handelt es sich um eine Erweiterung der Galileischen Lehre von der Pendelbewegung. Wird ein Körper, der sich im Zustande der geradlinigen und gleichförmigen Bewegung befindet, in eine kreisförmige Bahn gezwungen, so übt er einen vom Zentrum dieses Kreises fortgerichteten Zug aus, dem entweder durch einen gleichen Gegendruck oder durch die Spannung eines den Körper und das Zentrum verbindenden Fadens das Gleichgewicht gehalten werden kann. Huygens lieferte den Beweis, daß die Zentrifugalkraft wie das Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt und in dem Verhältnis kleiner wird, wie der Radius wächst.

Eine ausführliche Abhandlung, welche Huygens über die Zentrifugalkraft geschrieben, wurde erst nach seinem Tode veröffentlicht. Sie führt den Titel Tractatus de vi centrifuga und ist neuerdings in deutscher Übersetzung herausgegeben worden[1]). Als sie zuerst im Jahre 1703 erschien, hatte Newton die Lehre von der Zentrifugalkraft schon von einem viel allgemeineren Standpunkt aus entwickelt und sich dabei nicht wie Huygens auf die Kreisbewegung beschränkt, sondern die Untersuchung dieses Problems auf die elliptische Bewegung der Himmelskörper ausgedehnt.

Das Ergebnis der von Huygens über die Zentrifugalkraft geführten Untersuchung läßt sich durch zwei Sätze ausdrücken, aus denen man sämtliche für diese Kraft in Betracht kommenden Umstände ableiten kann. Bezeichnet man nämlich die Geschwindigkeit des im Kreise sich bewegenden Körpers mit v, seine Masse mit m und den Halbmesser des Kreises mit r, so ist die Zentrifugalkraft:

$$P = \frac{m v^2}{r}$$

Da ferner v gleich dem Verhältnis des Weges $2 r \pi$ zur Zeit t ist, so ist auch

$$P = \frac{m 4 r \pi^2}{t^2}$$

Die Formel $P = \frac{m v^2}{r}$ ist der kürzeste Ausdruck der beiden in der Abhandlung vorangestellten Lehrsätze, welche Huygens wie folgt ausspricht:

1. Wenn gleiche Körper auf ungleichen Kreisen mit gleicher Geschwindigkeit rotieren, so verhalten sich die Zentrifugalkräfte umgekehrt wie die Durchmesser, so daß auf dem kleineren Kreise die besagte Kraft größer ist.
2. Wenn gleiche bewegliche Körper auf gleichen (oder auf demselben) Kreise mit ungleichen Geschwindigkeiten rotieren, so verhalten sich die Zentrifugalkräfte wie die Quadrate der Geschwindigkeiten.

Huygens untersucht dann, wie groß die Geschwindigkeit eines Körpers sein muß, wenn die auf ihn wirkende Zentrifugalkraft die Schwere aufheben soll. Er erörtert ferner die infolge

---

[1]) Von Felix Haushofer im 138. Bande von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. W. Engelmann, Leipzig 1903.

der Pendelbewegung auftretende Zentrifugalkraft und findet beispielsweise[1], daß ein einfaches Pendel, dessen Masse = 1 gesetzt wird, nach Ablauf der größten seitlichen Schwingung, d. h. nachdem es durch den ganzen Quadranten des Kreises gefallen und im tiefsten Punkte angekommen ist, mit einer dreimal so großen Kraft an seinem Faden zieht, als wenn es ruhend an ihm hängt[2]. Am eingehendsten betrachtet er endlich den Fall, daß „bewegliche an Fäden aufgehängte Körper so rotieren, daß sie horizontale Kreisperipherien durchlaufen, während das andere Fadenende unbewegt bleibt“. Er findet, daß sich die Kräfte, welche die Fäden spannen, bei zwei Zentrifugalpendeln (Abb. 90) von gleichem Gewicht, aber ungleichen Fadenlängen, bei gleicher Höhe der Kegel

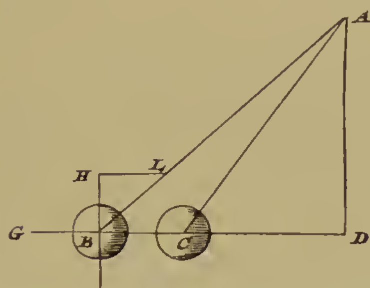


Abb. 90. Huygens untersucht die Bewegung des Zentrifugalpendels. (Ostwalds Klassiker Nr. 138, Fig. 21.)

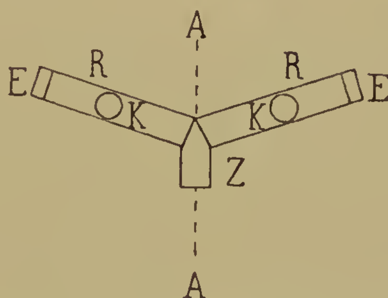


Abb. 91. Huygens zeigt, daß sich bewegliche Körper unter dem Einfluß der Zentrifugalkraft nach den spezifischen Gewichten ordnen. (Mach, Mechanik, Fig. 106.)

wie die Fadenlängen verhalten. Bezüglich der übrigen bei der Bewegung des Zentrifugalpendels obwaltenden Verhältnisse muß auf die Lehrsätze VIII—XIV der Huygenschen Abhandlung verwiesen werden.

Unter den Versuchen, die Huygens über die Zentrifugalkraft anstellte, sind ihrer geschichtlichen Bedeutung wegen besonders die folgenden hervorzuheben. Er ließ einen ganz mit Wasser gefüllten Behälter, in welchen er zuvor einige Holzkugeln gebracht hatte, sich um seine Achse drehen. Die Holzkugeln eilten dann auf die Achse zu, ein Beweis, daß die Zentrifugalkraft von dem spezifischen Gewicht der rotierenden Körper abhängig ist. Der Versuch wird heute in

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 138. S. 158.

[2]) Im tiefsten Punkte ist nämlich, da dann die durchfallene Strecke = l ist, $v = \sqrt{2gl}$ und die Zentrifugalkraft $P = \frac{v^2}{l} = \frac{2gl}{l} = 2g$. Dazu kommt die Schwere g, so daß (für m = 1) die gesamte Zugkraft = 3 g ist.

der Weise ausgeführt, daß man Holzkugeln in die Röhren R R, des auf der vorigen Seite skizzierten Apparats (Abb. 91) bringt. Sind die Röhren mit Luft gefüllt, so entfernen sich die Kugeln von der Achse und laufen, wenn die Drehung hinreichend schnell erfolgt, bergan. Füllt man die Röhren vollständig mit Wasser, so bewegt sich das spezifisch leichtere Holz nach der Achse hin. Das Hinablaufen der Holzkugeln in der mit Wasser gefüllten Röhre erregt zunächst Verwunderung Die Technik hat sich dies Verhalten bekanntlich zunutze gemacht, um mittelst Zentrifugen die wässrigen Bestandteile der Milch von den darin schwimmenden, spezifisch leichteren Buttertröpfchen zu trennen.

Den zweiten Versuch stellte Huygens mit einer Tonkugel an, indem er sie in rasche Drehung versetzte. Die Zentrifugalkraft wirkt auf jeden, außerhalb der Drehachse gelegenen Punkt eines rotierenden Körpers. Ist die Verbindung keine starre, besteht der Körper z. B. aus einem plastischen Stoff, so werden, schloß Huygens, infolge der mit der Entfernung von der Achse wachsenden Zentrifugalkräfte Formänderungen eintreten. Zum Beweise des Gesagten wurde eine Tonkugel auf eine durch ihren Mittelpunkt gehende Achse gesteckt und in Drehung versetzt. Die Kugel nahm darauf die Form eines an den Polen abgeplatteten Sphäroids an. Durch diesen Versuch und die vorausgehenden Überlegungen vermochte Huygens die von ihm beobachtete Abplattung des Jupiter zu deuten. Sie erschien ihm als das sicherste Zeichen, daß dieser Planet, ähnlich wie die Erde, eine Rotationsbewegung besitzt. Dann war aber auch, schloß Huygens, die allen bisherigen Gradmessungen zugrunde liegende Ansicht von der Kugelgestalt der Erde vermutlich eine irrige. Rotiert nämlich die Erde, und ist sie kein absolut starrer Körper, so muß sie gleichfalls von der Kugelgestalt abweichen. Die von Huygens angestellte Berechnung ergab für unseren Planeten eine Abplattung von 1:587. Newton, der sich mit derselben Frage beschäftigte, fand auf theoretischem Wege ein Resultat, welches den Ergebnissen späterer Messungen besser entsprach. Der von ihm berechnete Wert betrug 1 : 229.

Diese Untersuchungen der beiden großen Mathematiker sollten durch eine merkwürdige Beobachtung, welche zugleich auf die Wichtigkeit der Pendeluhr das hellste Licht warf, ihre Bestätigung finden. Der französische Astronom Jean Richer stellte im Jahre 1672 auf der in der Nähe des Äquators gelegenen Inse Cayenne astronomische Messungen an. Dabei fiel ihm auf, daß

seine von Paris mitgenommene Uhr täglich um 2 Minuten zurückblieb. Als er das Pendel um 5/4 Linien[1]) verkürzte, zeigte die Uhr wieder einen richtigen Gang. Nach Paris zurückgebracht, ging sie indes zu schnell, bis dem Pendel seine ursprüngliche Länge wiedergegeben wurde. Huygens erklärte diese Erscheinung als eine Folge der mit der Annäherung an den Äquator zunehmenden Schwungkraft, welche der Schwere entgegenwirkt und unter dem Äquator 1/289 der Schwere zu Paris beträgt[2]). Würde demnach, führt Huygens aus, die Erde 17 mal so schnell rotieren ($17^2 = 289$), so würde die Schwere durch die Schwungkraft völlig aufgehoben werden, so daß bei einer weiteren Steigerung der letzteren die am Äquator befindlichen Körper sich von der Erde fortbewegen müßten.

Eine Berechnung Newtons ergab zwar für die Schwungkraft gleichfalls den von Huygens gefundenen Wert. Während letzterer aber noch annahm, daß die Schwere auf der ganzen Erde die gleiche sei und die Änderungen in der Länge des Sekundenpendels ausschließlich durch die wechselnde Größe der Schwungkraft bedingt würden, zeigte Newton, daß die Schwere, auch wenn man von der Zentrifugalkraft völlig absieht, einen veränderlichen Wert besitzt und mit der Annäherung an den Äquator abnimmt. Für die Notwendigkeit einer Verkürzung des Pendels an Orten geringerer geographischer Breite ergaben sich somit zwei Ursachen, die Verminderung der Schwere und das Anwachsen der, einen Teil der letzteren aufhebenden, Zentrifugalkraft.

Die Mehrzahl der französischen Gelehrten verhielt sich diesen Ergebnissen gegenüber ablehnend. Man war zunächst geneigt, die von Richer beobachtete Erscheinung auf eine Wirkung der Wärme zurückzuführen, deren Einfluß Newton als zwar meßbar, aber sehr geringfügig annahm, da eine 3 Fuß lange Eisenstange während des Winters nur um 1/6 Linie kürzer sei als im Sommer. Auch gegen die Lehre, daß die Erde ein an den Polen abgeplattetes Sphäroid sei, erhob sich in Frankreich Widerspruch. Dominique Cassini (1625—1712), der Direktor der im Jahre 1667 gegründeten Pariser Sternwarte, für dessen ausgezeichnetes Beobachtungsvermögen die

1) Newtons Prinzipien (ed. Wolfers) Seite 406.

2) D. h. unter Berücksichtigung der in Paris gleichfalls durch die Zentrifugalkraft hervorgerufenen Verminderung der Schwere. Siehe auch die über diesen Gegenstand von Newton in seinen Prinzipien der Naturlehre (ed. Wolfers) Seite 401 angestellten Berechnungen.

Entdeckung von vier Saturnmonden[1]), sowie der Rotation des Jupiter sprachen, glaubte aus den Resultaten neuerer Gradmessungen schließen zu dürfen, daß die Erde eher ein längliches Sphäroid sei, anstatt an den Polen eine Abplattung aufzuweisen. Die Newtonianer nahmen indes die Beobachtungen an dem Jupiter, welcher entsprechend seiner auffallend raschen Umdrehung[2]) eine starke Abplattung an den Polen zeigt, als einen Analogiebeweis für ihre außerdem durch die oben erwähnten theoretischen Gründe gestützte Ansicht in Anspruch.

Dieser Streit setzte sich bis über das Zeitalter Newtons hinaus fort. Endlich fühlte sich die französische Regierung bewogen, ihn durch genauere Gradmessungen zum Austrag zu bringen. Das Ergebnis war die Richtigkeit der Voraussetzung Newtons, dessen System nunmehr auch in Frankreich einen vollständigen Sieg errang. Wir werden uns mit dieser Lösung des Problems bei der Betrachtung des auf die Newton-Huygensperiode folgenden Zeitraumes, in welchem auch die erste genauere Feststellung der Abmessungen unseres Sonnensystems gelang, zu beschäftigen haben[3]).

Auf das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kräfte wurde Huygens nicht nur, wie wir oben gesehen haben, durch die Erforschung der Pendelbewegung geführt, sondern er gelangte zu diesem Grundgesetz gleichfalls durch die von ihm und einigen ihm nahestehenden Physikern in Angriff genommene Untersuchung des Stoßes. Eine Theorie des Stoßes gab es während der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts noch nicht Galilei hatte in seinen „Unterredungen“ dem Stoßproblem zwar einen besonderen Abschnitt gewidmet; leider ist dieser aber unvollendet geblieben. Soviel ist gewiß, daß Galilei hier über allgemeinere Überlegungen nicht hinauskam[4]). Auch Descartes' Bemühungen, die Gesetze des Stoßes zu ergründen, waren erfolglos geblieben. Aus diesem Grunde stellte im Jahre 1668 die Royal Society ihren Mitgliedern die Aufgabe, die angedeutete, in der Mechanik noch bestehende Lücke auszufüllen. Infolgedessen entstanden die grundlegenden Abhandlungen, welche Wallis, Wren und Huygens kurze Zeit nach der an sie ergangenen Aufforderung über die Theorie des Stoßes veröffentlichten.

1) Cassini entdeckte in den Jahren 1671 bis 1684 den dritten, vierten, fünften und achten Mond des Saturn.

2) Cassini bestimmte deren Dauer zu 9 Stunden 56 Minuten; die Abplattung des Jupiter beträgt $^1/_{14}$.

3) Siehe an späterer Stelle dieses Bandes.

4) Siehe S. 57 dieses Bandes.

John Wallis wurde 1616 in einem kleinen Orte der Grafschaft Kent geboren und wurde 1649 Professor der Mathematik in Oxford. Sein Hauptverdienst ist seine Mitarbeit an der Begründung der höheren Mathematik. Die von Cavalieri und von Wallis herrührenden Vorarbeiten haben Newton und Leibniz den Weg zur Erfindung der Infinitesimalrechnung geebnet. Wallis war 1650 mit Cavalieris[1]) „Indivisibilien" bekannt geworden. Er ließ auf dieses Werk im Jahre 1655 seine „Arithmetica infinitorum" folgen[2]), in welcher Quadraturen durch Zerlegung eines Flächenstückes in unendlich viele schmale Parallelogramme und deren Summierung ausgeführt werden. Die Professur der Mathematik bekleidete Wallis bis zu seinem im Jahre 1703 erfolgten Tode.

Wallis war der erste, der von den drei Begründern der Theorie des Stoßes seine Abhandlung der Royal Society vorzulegen vermochte. Sie erschien im Jahre 1668 und führt den Titel: A summary Account given by Dr. John Wallis of the general laws of motion[3]).

Wallis betrachtet den Stoß unelastischer Körper, und zwar den zentralen Stoß, bei welchem sich die Körper auf einer ihre Schwerpunkte verbindenden geraden Linie bewegen. Für seine Ableitung verwendet Wallis den schon bei Descartes vorkommenden Begriff der Bewegungsgröße. Die Massen der zusammenstoßenden Körper seien m und m_1. Die Geschwindigkeiten seien v und v_1. Die Geschwindigkeit, welche die Masse $m + m_1$ nach dem Stoß besitzt, sei dagegen u. Dann besteht, wie Wallis fand, die Gleichung $u = \frac{m v + m_1 v_1}{m + m_1}$ für die gleichgerichtete und $u = \frac{m v - m_1 v_1}{m + m_1}$ für die entgegengesetzt gerichtete Bewegung.

Der Zweite, der sich auf Veranlassung der Royal Society mit der Erforschung der Stoßgesetze befaßte, war der als Baumeister berühmte Christoph Wren, dem London mehr als 60 öffentliche Gebäude und den Plan für seinen Wiederaufbau nach dem großen

[1]) Siehe S. 152 dieses Bandes.

[2]) Wallis, Opera mathematica I, 355—478. Der vollständige Titel lautet: Arithmetica infinitorum sive nova methodus inquirendi in curvilineorum quadraturam.

[3]) Sie wurde in lateinischer Sprache im darauf folgenden Jahre in den Philosophical Transactions veröffentlicht.

Brande vom Jahre 1666 verdankte. Wren wurde 1632 geboren und starb im Jahre 1723. Er gehörte zu den Gründern der Royal Society.

Wren fand durch Versuche mit pendelnden Körpern die Sätze für den Stoß elastischer Körper, ohne die dazu gehörenden Ableitungen geben zu können. Auch Huygens veröffentlichte wenige Monate nach Wren die Gesetze für den zentralen Stoß elastischer Körper ohne Beweise (im Februar des Jahres 1669). Die von Wren und von Huygens gefundenen Ergebnisse lassen sich in folgende Formeln einkleiden. Sind m und m_1 die stoßenden Massen, v und v_1 die Geschwindigkeiten vor, u und u_1 die Geschwindigkeiten nach dem Stoß, ist ferner e der Elastizitätskoeffizient, so ist:

$$u = \frac{m v + m_1 v_1 - e(v - v_1) m_1}{m + m_1}$$

$$u_1 = \frac{m v + m_1 v_1 + e(v - v_1) m}{m + m_1}.$$

Huygens hat später die Lehre vom Stoß ausführlicher und mit Beweisen entwickelt. Die betreffende Abhandlung erschien aber erst acht Jahre nach seinem Tode in lateinischer Sprache. Sie wurde neuerdings in deutscher Übersetzung herausgegeben[1]). Mit dem Inhalt dieser grundlegenden Arbeit des großen Forschers wollen wir uns etwas näher befassen.

Obgleich Huygens nirgends von vollkommener Elastizität spricht, setzt er sie dennoch stets voraus. Es geht dies aus der zweiten von den drei, seinen Lehrsätzen vorangestellten, Voraussetzungen hervor. Sie lautet: „Wenn zwei gleiche Körper mit gleichen Geschwindigkeiten aus entgegengesetzter Richtung und direkt sich treffen, so prallt jeder von beiden mit derselben Geschwindigkeit zurück, mit welcher er kam.“ Die andere Voraussetzung ist das Beharrungsgesetz und die dritte das wichtige, von Huygens aufgestellte und in seiner Schrift zur konsequenten Durchführung gebrachte Axiom der relativen Bewegung. Nach diesem Axiom ist die Bewegung der Körper und die Gleichheit oder Verschiedenheit der Geschwindigkeiten relativ aufzufassen,

---

1) Christian Huygens, „Über die Bewegung der Körper durch den Stoß“, als 138. Band I. Teil von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben von Felix Hausdorff. Leipzig, Verlag von W. Engelmann, 1903. Diese Abhandlung von Huygens erschien unter dem Titel „Tractatus de motu corporum ex percussione“ im Jahre 1703 (Opuscula posthuma).

d. h. im Hinblick auf andere Körper, welche als ruhend betrachtet werden, wenn sie auch vielleicht in einer anderen gemeinsamen Bewegung begriffen sind. Huygens erläutert z.B. den Fall, daß der Insasse eines fahrenden Schiffes zwei gleiche Kugeln in der Fahrtrichtung mit gleicher Geschwindigkeit aufeinanderprallen läßt. Für ihn werden sie dann mit gleicher Geschwindigkeit voneinander zurückprallen. Für einen am Lande stehenden Zuschauer muß indessen, wenn die Geschwindigkeit der Kugeln gleich derjenigen des Schiffes ist, die eine Kugel nach dem Stoße unbewegt bleiben, während die andere mit einer Geschwindigkeit zurückprallt, die doppelt so groß ist als die ihr von dem Passagier erteilte Geschwindigkeit.

Die Sätze, welche Huygens entwickelt, behandeln durchweg den zentralen Stoß. Da indessen das Verhältnis der Massen und der Geschwindigkeiten geändert wird, so ergibt sich für seine Betrachtungen eine Mannigfaltigkeit von Fällen. Einige der wichtigsten mögen hier hervorgehoben werden. „Wenn auf einen ruhenden Körper ein anderer gleicher Körper stößt, so wird dieser nach der Berührung ruhen, für den ruhenden aber wird dieselbe Geschwindigkeit gewonnen werden, welche der stoßende besaß.“

Dieser Satz ist ein besonderer Fall des folgenden, welcher lautet: „Wenn zwei gleiche, mit ungleichen Geschwindigkeiten bewegte Körper zusammenstoßen, so werden sie sich nach dem Stoße mit vertauschten Geschwindigkeiten bewegen.“

In diesem, besonders aber in dem berühmten elften, von Huygens aufgestellten Satze, kommt das umfassende Prinzip zum Ausdruck, daß die gesamte Bewegungsenergie beim Stoße vollkommen elastischer Körper unverändert bleibt.

Der elfte Satz lautet: Beim wechselseitigen Stoß zweier Körper ist die Summe der Produkte aus den Massen mit den Quadraten ihrer Geschwindigkeiten vor und nach dem Stoße gleich. Jenes Produkt wurde seit Leibniz als lebendige Kraft bezeichnet. In dem Satz von Huygens (1669) wird somit zum ersten Male das umfassendste Gesetz der Mechanik, das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft, zum Ausdruck gebracht. Eine philosophische Andeutung dieses Grundgesetzes findet sich zwar schon bei Epikur, dessen Ansichten über das Kräftespiel des Universums Lucretius Carus in poetische Formen kleidete[1]. In seiner vollen Bedeutung konnte es erst später erkannt werden, nachdem man die Wärme

[1] S. Bd. I dieses Werkes, S. 184. Lucretius Carus II. 294–307.

als eine besondere Art der Bewegung kennen gelernt hatte. Einen Ausdruck für die Allgemeingültigkeit des Gesetzes finden wir schon bei Leibniz, wenn er sich folgendermaßen ausläßt: „Das Universum ist ein System von Körpern, welche mit anderen nicht kommunizieren. Daher erhält sich in ihm immer dieselbe Größe[1].“ Auch was beim Stoß durch die kleinsten Teilchen an Kraft absorbiert werde, bemerkt Leibniz an anderer Stelle, sei für das Universum nicht verloren[2].

Den Ausgangspunkt für diese von Leibniz angestellten Betrachtungen bildete eine Behauptung des Descartes, die Leibniz als irrtümlich bekämpfte. Descartes hatte nämlich für die Kraftmessung das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit, das sogenannte Bewegungsquantum, gewählt und behauptet, die Summe der Bewegungsquanten müsse für das Universum konstant bleiben. Hiergegen wandte sich Leibniz in seiner Abhandlung vom Jahre 1686, deren vollständiger, sehr bezeichnender Titel folgendermaßen lautet[3]: Kurzer Nachweis des bemerkenswerten Irrtums des Descartes und anderer bezüglich eines Naturgesetzes, demzufolge, wie sie annehmen, durch Gott immer dasselbe Quantum an Bewegung sich erhalte.

Leibniz vermochte seinen Gegner leicht zu widerlegen, indem er einen anderen, und zwar richtigen Satz des letzteren mit Hilfe der von Galilei erkannten Fallgesetze auf einen anderen Ausdruck brachte[4]. Descartes hatte nämlich den richtigen Gedanken, die Größe der Kraft durch das Produkt von Gewicht und Erhebung auszudrücken. Daraus ergab sich, weil nach den Fallgesetzen die Erhebungen den Quadraten der beim Beginn des Aufsteigens vorhandenen Anfangsgeschwindigkeiten proportional sind, daß die Wirkungsgröße dem Produkt aus Gewicht und Geschwindigkeitsquadrat und nicht dem Produkt aus Gewicht und Geschwindigkeit proportional ist.

Wir wollen von dem Standpunkt, den Leibniz in dieser Frage gewonnen, noch einen kurzen Blick vor- und rückwärts tun. Auf die Anklänge bei Epikur haben wir schon hingewiesen. Voltaire konnte daher im Hinblick auf den bei Descartes

---

1) Leibniz, Mathematische Schriften. Herausgegeben von Gerhardt. Halle 1860. II. Abt. Bd. II. S. 434.

2) Ausgabe von Pertz-Gerhardt. Bd. VI. S. 231.

3) Brevis demonstratio etc. (Acta eruditorum 1686).

4) Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. S. 230.

wieder aufkeimenden Gedanken sagen, sein Landsmann habe nur eine alte Chimäre Epikurs erneuert[1]). Newton hat sich um die Einführung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft in die Dynamik keine Verdienste erworben, insbesondere war er weit davon entfernt Anschauungen über die Abgeschlossenheit und den Kräftevorrat des Universums zu entwickeln, wie sie uns bei Leibniz begegnen. Dies kommt auch in dem von Leibniz herrührenden Worte zum Ausdruck, die göttliche Maschine Newtons, d. h. das Universum, wie er es sich dachte, sei nach Newtons eigener Annahme so unvollkommen, daß sie von Zeit zu Zeit ausgebessert werden müsse.

Mit dem Prinzip von der Erhaltung der Kraft haben sich unter Huygens' Nachfolgern während des 18. Jahrhunderts besonders Johann und Daniel Bernouilli beschäftigt. Wir werden an späterer Stelle noch darauf zurückkommen. Auffallend ist es, daß Kant trotz seiner Betrachtungen über das Weltall und den Weltbildungsprozeß nirgends auf dies Prinzip Bezug nahm. Kant reduzierte in seinen „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“ die Unveränderlichkeit der Quantität der Materie, die Kraftmenge ließ er jedoch unerwähnt[2]). Die Ausdehnung des Prinzips von der Dynamik, für welche es zunächst erkannt war, auf sämtliche Naturvorgänge erfolgte erst in der Mitte des 19. Jahrhunderts durch Mayer, Joule und Helmholtz.

Unter den Zeitgenossen Newtons ragte neben Huygens der Franzose Mariotte hervor, wenn er auch den beiden zuerst genannten Forschern an Bedeutung erheblich nachstand. Mariotte wurde 1620 geboren und trat 1666, also im Jahre ihrer Gründung, in die Pariser Akademie der Wissenschaften ein. Er starb in Paris am 12. Mai des Jahres 1684. Mariottes Verdienste liegen insbesondere auf den Gebieten der Mechanik, der Optik und der Wärmelehre[3]). Mariottes Verdienst um die ihm und Boyle gelungene Auffindung des Grundgesetzes der Aëromechanik haben wir schon an früherer Stelle hervorgehoben. Mariotte veröffentlichte seine Entdeckung dieses Grundgesetzes im Jahre 1676, sechszehn Jahr später als Boyle, in

---

[1]) H. Berthold, Notiz zur Geschichte des Prinzips der Erhaltung der Kraft. (Chemisches Zentralblatt VII, 7 1876).

[2]) Siehe A. Stadler, Kant und das Prinzip von der Erhaltung der Kraft. (Philosoph. Monatshefte Bd. XV. Leipzig 1879).

[3]) Eine Sammlung seiner Werke erschien 1717 in Leyden: Œuvres de Mariotte, divisées en deux tomes.

einer, Essai sur la nature de l'air betitelten, Abhandlung[1]). Wenn sein Verdienst auch dadurch, daß Boyle die Priorität gebührt, verringert wird, so war doch Mariotte der erste, der aus diesem Gesetz die Abhängigkeit des Luftdrucks von der Höhe zu ermitteln suchte und so die barometrische Höhenmessung begründete. Der Weg, den Mariotte einschlug, war zwar richtig, doch gelang es erst Deluc eine brauchbare hypsometrische Formel abzuleiten.

Die Hydromechanik bereicherte Mariotte durch seinen Traité du mouvement des eaux et des autres fluides. Die Schrift erschien 1686[2]) und handelt besonders von dem Ausfluß und der dabei auftretenden Reibung, aus welcher Mariotte manchen Widerspruch zwischen Theorie und Erfahrung zu erklären suchte. In dieser Abhandlung hat Mariotte auch die bekannte, nach ihm Mariottesche Flasche genannte, Vorrichtung beschrieben, welche es ermöglicht eine Flüssigkeit unter konstantem Druck ausfließen zu lassen. Ferner gab er hier die erste Formel der Berechnung der Wandstärke für zylindrische Röhren, welche einen Druck von innen erfahren, erörterte die Bewegung des Wassers in solchen Röhren, die Stoßwirkung von Flüssigkeiten, die Springhöhe von Fontänen und manche andere für Wissenschaft und Technik gleich wichtige Frage. Die Veranlassung zu seinen Untersuchungen über Hydrostatik und Hydrodynamik sollen ihm die prächtigen Wasserwerke zu Versailles gegeben haben[3]). Auch mit der Mechanik der festen Körper hat sich Mariotte beschäftigt. In einer Abhandlung[4]) vom Jahre 1677 untersuchte er den Stoß und beschrieb eine Vorrichtung, um die von ihm und anderen (insbesondere von Wren) gefundenen Gesetze experimentell nachzuweisen. Sie besteht aus einer Anzahl Elfenbeinkugeln, die sich berühren und so aufgehängt sind, daß ihre Mittelpunkte in einer horizontalen geraden Linie liegen.

In der Optik ist Mariotte durch die Entdeckung des sogenannten blinden Flecks im Auge bekannt geworden. Er machte der Pariser Akademie im Jahre 1666 Mitteilung von dieser merkwürdigen Entdeckung, die er, wie folgt, schildert: „Ich hatte bei anatomischen Untersuchungen von Menschen und Tieren oft beobachtet, daß der Sehnerv nicht genau der Pupille gegenüber in

1) Œuvres de Mariotte. Bd. I. S. 149 u. f.

2) Œuvres de Mariotte. Bd. II. S. 322 u. f.

3) Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 493.

4) Traité de la percussion ou choc des corps. Paris 1677. Œuvres Bd. I. S. 3 u. f.

den Augapfel eintritt, sondern etwas höher und mehr nach der Nase hin. Um daher die von einem Gegenstande kommenden Lichtstrahlen auf den Sehnerven meines Auges fallen zu lassen und zu untersuchen, was dann geschähe, befestigte ich auf einem dunklen Hintergrund, etwa in der Höhe meiner Augen, eine kleine Scheibe aus weißem Papier, die mir zum Fixieren dienen sollte. Ferner brachte ich eine zweite Scheibe rechts von der ersten, aber etwas tiefer und etwa 2 Fuß davon entfernt an, so daß sie auf den Sehnerven meines rechten Auges wirken konnte, während ich das linke geschlossen hielt. Ich stellte mich der ersten Scheibe gegenüber und entfernte mich allmählich, indem ich sie immer im Auge behielt. Als ich mich etwa neun Fuß entfernt hatte, verschwand die zweite Scheibe, welche etwa 4 Zoll Durchmesser besaß, vollständig. Dies ließ sich nicht etwa aus der seitlichen Lage der zweiten Scheibe erklären, denn ich bemerkte andere Gegenstände, die sich noch mehr seitlich befanden, so daß ich hätte glauben können, man habe die zweite Scheibe entfernt. Doch erblickte ich sie sofort wieder, sobald ich die Stellung meines Auges ein wenig veränderte. Sobald ich dann wieder die erste Scheibe ins Auge faßte, verschwand die zweite, zur Rechten befindliche Scheibe sofort wieder. Ich machte dann denselben Versuch, indem ich meine Entfernung von den Scheiben, gleichzeitig aber und zwar im selben Verhältnis, deren Abstand von einander änderte. Ich stellte ihn ferner mit dem linken Auge an, indem ich das rechte geschlossen hielt. Zuvor hatte ich die zweite Scheibe, links von meinem Fixierpunkte (der ersten Scheibe nämlich) anbringen lassen. Auf solche Weise stellte ich fest, daß es sich unzweifelhaft um einen Sehfehler handelt, welcher den Sehnerven (richtiger seine Eintrittsstelle) betrifft. Das Überraschende ist, daß, wenn man auf diese Weise eine auf hellem Grunde befindliche schwarze Papierscheibe verschwinden sieht, man nicht etwa irgend welchen Schatten oder eine dunkle Stelle, dort wo sich das Papier befindet, erblickt. Der Hintergrund erscheint vielmehr in seiner ganzen Ausdehnung weiß"[1]).

Der Versuch erregte das größte Aufsehen. Die Royal Society wiederholte ihn 1668 sogar in Gegenwart des Königs. Der Versuch führte Mariotte indessen zu der unrichtigen Annahme, daß nicht die Netzhaut, sondern die darunter liegende Aderhaut der Sitz des Sehvermögens sei. Ein weiteres Verdienst um die Optik

[1]) Mariotte, Œuvres. Bd. II. S. 496.

erwarb sich Mariotte durch seine Erklärung der um Mond und Sonne mitunter auftretenden Höfe, sowie der Nebenmonde und Nebensonnen. Mariottes Theorie über die Entstehung der einen Durchmesser von 23 Graden besitzenden Höfe, gilt im wesentlichen auch heute noch. Er erklärt die Erscheinung durch die Annahme, daß in den höheren Regionen prismatische Eisnadeln schweben, in welchen das Licht eine zweimalige Brechung und eine Reflexion erleidet. Sein Beweisverfahren ist demjenigen ähnlich, das Descartes zur Erklärung des Regenbogens aus der in den Wassertropfen stattfindenden Brechung und Spiegelung anwendet. Da die Eisnadeln in allen denkbaren Lagen die Luft zwischen dem Auge des Beobachters und der Sonne oder dem Mond erfüllen, so muß auch immer eine genügende Anzahl von Nadeln vorhanden sein, deren Achse senkrecht zur Verbindungslinie des Auges mit dem Himmelskörper steht. Für diese Stellung der Nadeln ergibt aber die Berechnung den beobachteten Winkel von 23 Graden.

Auf dem Gebiet der Wärmelehre verdanken wir Mariotte einige wichtige Beobachtungen, welche Licht über das Phänomen der Wärmestrahlung verbreiten. Er wies nach, daß die Sonnenstrahlen ein Glas fast ungeschwächt durchdringen, während die Wärme des Kaminfeuers dadurch fast ganz zurückgehalten wird. Mariotte bediente sich dazu eines Brennspiegels, der vor einem Kaminfeuer in seinem Fokus eine unerträgliche Hitze erzeugte. Letztere verschwand, wenn eine Glasplatte zwischen den Kamin und den Spiegel gebracht wurde. Berühmt geworden ist ferner Mariottes Versuch, Schießpulver mit einer aus Eis gebildeten Linse zu entzünden. Er beschreibt ihn mit folgenden Worten[1]: „Mehrere Personen haben versucht Brennspiegel aus Eis herzustellen, indessen hat dies seine Schwierigkeiten. Um vollkommen reines Eis herzustellen, ließ ich klares Wasser eine halbe Stunde kochen und trieb so alle Luft heraus. Dies Wasser ließ ich zu einer Platte gefrieren, die einige Zoll dick war. Sie enthielt keine Blase und war vollkommen durchsichtig. Ein Stück dieser Eisplatte brachte ich dann in ein kleines, sphärisch ausgehöhltes Gefäß und ließ das Eis darin unter wiederholtem Umwenden so lange schmelzen, bis es auf beiden Seiten die sphärische Form des Gefäßes angenommen hatte. Dann ergriff ich das Eisstück an den Rändern, wobei ich mich eines Handschuhes bediente, und brachte es in die Sonne. In sehr kurzer Zeit vermochte ich mit Hilfe einer

[1]) Œuvres de Mariotte. Bd. II. S. 607.

solchen, aus Eis verfertigten Linse Schießpulver zu entzünden, das ich in ihren Brennpunkt gebracht hatte."

Auch um die Meteorologie und um die physikalische Geographie hat Mariotte sich manche Verdienste erworben. Er verglich zuerst die Niederschlagsmenge mit dem aus einem Flußgebiet abfließenden Wasserquantum. Seine Berechnungen stellte er für die Seine an, deren Gebiet er auf 3000 französische Quadratmeilen schätzte. Die jährliche Regenhöhe betrug nach den schon damals angestellten Beobachtungen 15 Zoll, was eine Wassermenge von mehr als 600 Millionen Kubikfuß ergab, während die Seine nur etwa 100 Millionen Kubikfuß, also 1/6 des gesamten Niederschlags fortführte. Diese Berechnung würde zwar heute keinen Anspruch auf hinlängliche Genauigkeit mehr erheben können. Mariotte konnte aber kaum ahnen, wie wichtig solche Ermittlungen, zu denen er den Weg gewiesen, für spätere, auf eine wirtschaftlichere Ausnutzung des Wasserreichtums gerichtete Bestrebungen sein würden.

Noch engere Beziehungen als zwischen Newton und Huygens bestanden zwischen dem unvergleichlichen englischen Forscher und seinem jüngeren Landsmann Halley, der zu dem großen Meister in einem ähnlichen Verhältnis stand wie ein halbes Jahrhundert früher Torricelli zu Galilei.

Edmund Halley wurde 1656 in der Nähe von London geboren. Seine Neigung für die Mathematik und die Physik zeigte sich wie bei Newton sehr frühzeitig. Als 15jähriger Schüler widmete er sich schon der Verfertigung von Apparaten und Beobachtungen über den Erdmagnetismus. Halley studierte in Oxford und veröffentlichte mit 20 Jahren seine erste Abhandlung in den Philosophical Transactions. Sie betraf die Exzentrizität der Planetenbahnen. Im selben Alter wußte er vornehme Gönner dafür zu gewinnen, daß man ihn mit dem Auftrage, einen Fixsternkatalog des südlichen Himmels herzustellen, nach St. Helena schickte. Die Kosten für diese Expedition übernahm die Ostindische Kompagnie. Der Katalog, der etwa 360, in Europa nicht sichtbare, Sterne enthielt, erschien im Jahre 1679 [1]) und trug Halley die Mitgliedschaft der Royal Society ein, in welche er als 22jähriger, ein Jahr vor der Veröffentlichung seiner Arbeit, aufgenommen wurde. Nach seiner Rückkehr wurde Halley durch die Erscheinung der großen Kometen von 1680 und 1682

[1]) Catalogus stellarum australium, seu supplementum catalogi Tychonici.

angeregt, sich der Erforschung dieser Himmelskörper zu widmen. Zunächst galt es noch, eine Methode zu finden, um aus einer Reihe von Beobachtungen die Bahn eines Kometen zu bestimmen. Zu diesem Zwecke trat Halley im Jahre 1684 mit Newton in Verbindung. Letzterer setzte ihn von seinem, später am Schlusse der Prinzipien veröffentlichten Konstruktionsverfahren in Kenntnis. Dabei gewann Halley auch Einblick in die übrigen Vorarbeiten zu Newtons großem Werke, das dieser wie Koppernikus seine „Kreisbewegungen" jahrelang nicht zum Abschluß und zur Kenntnis der Mitwelt brachte, um immer noch kleine Unvollkommenheiten zu beseitigen. Dem Drängen Halleys, der Newton das Werk förmlich abringen mußte und den Druck besorgte, ist es zu danken, daß die „Prinzipien" endlich im Jahre 1688 erschienen.

Nach der von Newton geschaffenen Theorie berechnete Halley aus den vorhandenen Beobachtungen die Bahnen von 24 Kometen, die in den Jahren 1337 bis 1608 erschienen waren. Der früheren Annahme entgegen, daß man es in diesen Weltkörpern durchweg mit fremden Eindringlingen ganz unbekannter Herkunft zu tun habe, die auf ihrem parabolischen Wege dem Sonnensystem einen kurzen Besuch abstatteten, machte Halley die überraschende Entdeckung, daß gewisse Kometen Glieder unseres Systems sind und sich wie die Planeten in elliptischen, wenn auch sehr langgestreckten Bahnen um die Sonne bewegen. Diese Entdeckung machte Halley an dem Kometen des Jahres 1682. Die Berechnung ergab nämlich für diesen und die 1607 und 1531 erschienenen Kometen fast dieselben Elemente[1]). War die Annahme Halleys, daß es sich hier um dasselbe Gestirn handle, das sich innerhalb 75 Jahren in elliptischer Bahn um die Sonne bewegen sollte, zutreffend, so war eine neue Wiederkehr im Jahre 1759 zu erwarten. Diese einzigartige Vorhersage, der im 19. Jahrhundert die Entdeckung des Neptun durch Leverrier an die Seite zu stellen ist, traf auch ein. Der Komet erschien 1835 nach weiteren 75 Jahren und wurde auch im Jahre 1910 beobachtet. Die Erscheinung des Halleyschen Kometen ist später bis zu dem Beginn unserer Zeitrechnung zurück verfolgt worden. Eine periodische Wiederkehr hat Halley ferner für den Kometen von 1680, wohl den größten der je beobachtet wurde — sein Schweif war 70 Grad

[1]) Eine Zusammenstellung der Elemente findet sich in Wolffs Geschichte der Astronomie. S. 702. Der Halleysche Komet flößte bei seinem Erscheinen im Jahre 1456 während der Belagerung von Belgrad Türken und Christen Schrecken ein.

lang — wahrscheinlich gemacht. Die Umlaufszeit beträgt für diesen Kometen nach Halleys Annahme 575 Jahre. Die Richtigkeit dieser Annahme würde also erst durch eine Wiederkehr im Jahre 2255 ihre Bestätigung finden können.

Halley war auch der erste, welcher die Meteore mit den Kometen in Parallele brachte, indem er für die Meteore gleichfalls einen kosmischen Ursprung annahm. Früher hatten diese für atmosphärische Erscheinungen gegolten. Aus den Beobachtungsdaten, welche für ein 1708 in England gesehenes Meteor vorlagen ergab sich eine solch bedeutende Höhe für das Aufleuchten der Feuerkugel, daß Halley zu der erwähnten Annahme geführt wurde. Er drang indessen mit seiner Ansicht nicht durch und es blieb Chladni vorbehalten, endgültig die Lehre zur Anerkennung zu bringen, daß wir es in den Meteoren und Sternschnuppen mit kosmischen Gebilden zu tun haben.

Halleys weitere astronomische Tätigkeit fällt vorzugsweise in die erste Hälfte des 18. Jahrhunderts und wird in einem späteren, die Astronomie dieses Zeitraumes behandelnden Abschnitt Berücksichtigung finden. Als Physiker hat sich Halley auf dem Gebiete der Optik, des Magnetismus und der Wärmelehre große Verdienste erworben.

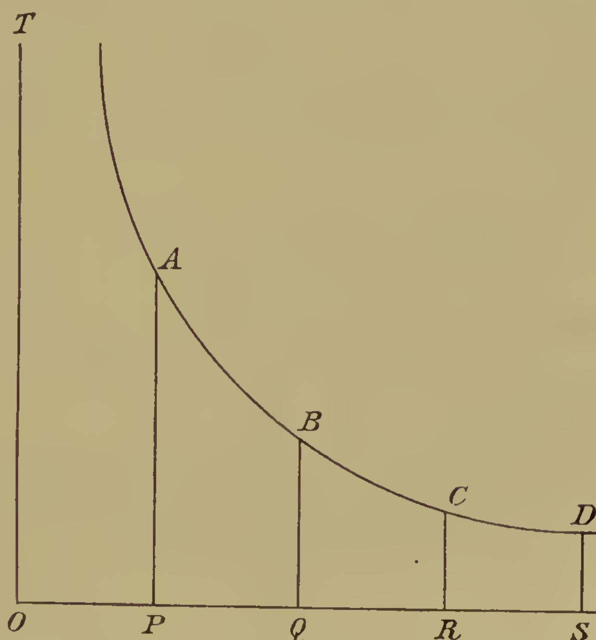


Abb. 92. Halleys Ableitung der barometrischen Höhenformel.

Wir haben erfahren, mit welchen Schwierigkeiten Kepler bei der Begründung der Dioptrik zu kämpfen hatte, weil ihm noch die Kenntnis des genauen Brechungsgesetzes und einer Formel für die Brenn- und Vereinigungsweiten der Linsen fehlte. Die Feststellung dieser Formel gelang, nachdem schon eine Regel für die Berechnung der Brennweiten sphärischer Gläser von Cavalieri

aufgefunden war[1]), in allgemein gültiger Weise erst Halley im Jahre 1693[2]). Halleys dioptrische Fundamentalformel läßt sich auf die bekannte einfache Form $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ bringen, worin f die Brennweite, a und α Bild- und Gegenstandsweite bedeuten. Sie gilt nicht nur für sphärische Linsen, sondern auch für sphärisch gekrümmte Spiegel[3]).

Eine andere wichtige Formel, deren Ableitung wir Halley verdanken[4]), ist die von Mariotte vergeblich gesuchte Formel für die barometrische Höhenmessung. Der Weg, den Halley dabei einschlug, ist der folgende: Nach dem Boyleschen Gesetze verhalten sich die Volumina einer Luftmasse umgekehrt wie die Drucke oder $v : v^1 = p^1 : p$. Ebenso verhalten sich aber auch die Koordinaten einer Hyperbel, wenn wir ihre Asymptoten als Ordinaten- und Abscissenachse wählen. Es ist nämlich (siehe Abb. 92) $OP : OQ = QB : PA$. Stellen somit OP, OQ, OR die Drucke vor, so sind PA, QB, RC die zugehörigen Volumina der betreffenden Luftmasse. Für die Volumina können wir die Höhen setzen, da in einer zylindrischen oder prismatischen Luftschicht, die sich von der Erde bis zur Grenze der Atmosphäre erstreckt, die Grundflächen für alle Teilschichten dieselben bleiben. Nun ist aber die Gesamthöhe aller Luftschichten zwischen zwei Stellen, denen der Barometer-

---

1) Im Jahre 1647. Siehe Wilde, Geschichte der Optik. I. 272.

2) Philos. Transactions von 1693.

3) Den von Halley geführten Beweis dieser Formel enthält Wildes Geschichte der Optik. I. 275 u. f.

4) Philos. Transactions 1686. Discourse of the rule of the decrease of the height of the mercury in the barometer, according as places are elevated above the surface of the earth.

Abb. 92 ist der Abhandlung Halleys entnommen (Philos. Transact. 1686, S. 79). Für die Höhen, welche einem gemessenen Barometerstand entsprechen, berechnete Halley folgende Tabelle:

Barometerstand in Zollen	Höhe in Fuß
30	0
29	915
28	1862
27	2844
26	4922
20	10947
15	18715
10	29662
5	48378
1	91831

stand OS und OR zukommt, gleich der Fläche RCDS. Ferner verhalten sich bei der zugrunde gelegten Hyperbel die Flächen

$$RCDS : QBCR = \log\frac{OS}{OR} : \log\frac{OR}{OQ}.$$

Daraus folgt, da die Flächenräume die Höhen und die Abszissen die Barometerstände vorstellen

$$H = A \log\frac{B}{b}.$$

A bedeutet eine Konstante, deren Wert Halley aus dem Verhältnis der Dichten von Luft und Quecksilber bestimmte. Dies ist die Barometerformel in ihrer einfachsten Form und ohne Berücksichtigung der Temperatur. Der erste, der sich dieser logarithmischen Formel bei Höhenmessungen bediente, war Bouguer während seiner mit Condamine unternommenen Gradmessung in Peru.

Halleys Verdienste um die Mathematik können hier nur ganz kurz gestreift werden. Erwähnt seien einige Arbeiten, die eine konstruktive Auflösung der kubischen und der biquadratischen Gleichungen unter Anwendung der Kegelschnitte brachten[1]. Wichtig ist auch Halleys etwas später (1695) erschienene Abhandlung über die Berechnung der Logarithmen[2]. Sie enthält unter anderem eine bis auf 60 Dezimalen durchgeführte Berechnung des Moduls des Briggschen Logarithmensystems[3]. Auch durch seine Apolloniosausgabe vom Jahre 1710 erwarb sich Halley hervorragende Verdienste. Da nur die ersten vier Bücher, welche Apollonios über die Kegelschnitte geschrieben, in griechischer Sprache auf uns gekommen sind, während vom fünften, sechsten und siebenten Buche nur eine arabische Übersetzung zu Gebote stand, so war Halley, um seine Aufgabe zu lösen, zur Erlernung der arabischen Sprache gezwungen. Letztere beherrschte er bald in solchem Maße, daß er Verbesserungsvorschläge, welche die Bewunderung der Orientalisten erregten, zu arabischen Texten machen konnte,

Etwas eingehender müssen wir Halleys Anwendung der Mathematik auf ein biologisches und sozialpolitisches Problem, nämlich auf die Ermittlung der Lebenswahrscheinlichkeiten betrachten, ein Problem, das für die gegen das Ende des 17. Jahr-

1) Cantor. Geschichte der Mathematik. III. S. 114 und 115.
2) Cantor, III. S. 80–82.
3) Cantor, III. S. 363.

hunderts in England und in Holland aufkommende Rentenversicherung von größter Bedeutung war. Die betreffende Arbeit Halleys erschien 1693[1]) unter dem Titel: Eine Schätzung des Sterblichkeitsgrades gegründet auf eine Statistik der Geburts- und Sterbefälle. Halleys Schrift enthält für jene Zeit ganz neue, die Sterblichkeit betreffende Entwicklungen und bringt eine solche Fülle der fruchtbarsten Gedanken, daß man sie als grundlegend für diesen Teil der Sozialwissenschaft betrachten muß[2]).

Erwähnt sei gleich an dieser Stelle, daß sich mit dem weiteren Ausbau der von Halley gegebenen Grundzüge dieses Gebietes der französische Mathematiker Moivre[3]) und in Deutschland besonders Süßmilch beschäftigt haben. Süßmilchs Werk erschien 1741 unter dem Titel: Die göttliche Ordnung in den Veränderungen des menschlichen Geschlechtes aus der Geburt, dem Tode und der Fortpflanzung erwiesen. Die Schrift Süßmilchs ist gleichfalls ein für die statistische Wissenschaft grundlegendes und, da es die Vorarbeiten Halleys und andere Forschungen dieses Gebietes vereinigt, unentbehrliches Werk[4]).

Wir kehren nach dieser kurzen Abschweifung zu Halley zurück, dessen wissenschaftlicher Werdegang, je weiter man ihn verfolgt, um so mehr Bewunderung hervorruft. Halley hatte sich seit frühester Jugend mit den Erscheinungen des Erdmagnetismus befaßt, und es war sein Lieblingswunsch, diese Erscheinungen auch in den Tropen eingehender zu erforschen. Sein Gedanke, von dem man sich Vorteile für die Nautik versprach, fand Anklang, und Halley wurde auf Kosten der Regierung zum Führer von zwei Expeditionen ernannt. Er besuchte während der Jahre 1698 bis 1700 das tropische Amerika, mehrere Inselgruppen und Küstenpunkte Afrikas und Ostindien. Das Ergebnis dieser Reisen, welche in südlicher Richtung bis zum 53. Breitengrad ausgedehnt wurden, war die erste Deklinationskarte. Sie ist das Muster für alle späteren Deklinationskarten gewesen und ist auch heute für das Studium der säkularen Schwankungen der Deklination von großem Werte.

---

[1]) Philos. Transactions XVII 596—610. An Estimate of the Degrees of the Mortality of Mankind, drawn from curious Tables of the Births and Funerals at the City of Breslaw; with an Attempt to ascertain the Price of Annuities upon Lives.

[2]) Cantor, Geschichte der Mathematik. Bd. III. S. 45—47.

[3]) Cantor, III. S. 343.

[4]) Cantor, Geschichte der Mathematik. III. S. 616.

Halleys Karte erschien 1701 unter dem Titel: A general chart, showing at one view the variation of the compass [1]). Sein Verfahren, die in zahlreichen Einzelbeobachtungen gewonnenen Ergebnisse übersichtlich zu machen, bestand darin, daß er die Punkte gleicher Deklination verband und dadurch eine graphische Darstellungsweise einführte, die seitdem Gemeingut der Wissenschaft geworden ist. Für die nach Halleys Verfahren entstehenden Linien gleicher Abweichung kam die Bezeichnung Isogonen in Aufnahme.

Daß die magnetische Deklination an einem und demselben Orte säkularen Schwankungen unterliegt, war schon seit längerer Zeit bekannt [2]). Einige Jahrzehnte nach dem Erscheinen der Halleyschen Karte wurden auch die kleinen täglichen Schwankungen entdeckt [3]).

Halley war auch der erste, der die Erscheinung des Nordlichts mit dem Erdmagnetismus in Beziehung brachte. Er beobachtete nämlich, daß die westliche Abweichung des Nordlichts dieselbe Größe wie die westliche Aweichung der Magnetnadel besitzt. Die Erkenntnis dieser Tatsache war von hervorragender Wichtigkeit, wenn auch der von Halley daran geknüpfte Versuch, das Nordlicht zu erklären, mißlang. [4]).

Wie kaum anders zu erwarten, hat Halley als Leiter mehrerer nautischer Unternehmungen sich auch Verdienste um die Meereskunde erworben. Er verbesserte die Taucherglocke, beschrieb eine Taucherkappe und machte, als er sich selbst bis zu einer beträchtlichen Tiefe ins Meer hinabließ, die Beobachtung, daß das Meerwasser grünes Licht zurückwirft, das komplementäre rote dagegen durchläßt, so daß z. B. seine Hände ihm in größerer Meerestiefe ganz rot erschienen. Auch die Regelmäßigkeit der Passat- und der Monsunwinde regten das Nachdenken Halleys an, doch blieben seine Erklärungen hier unzulänglich.

Da Halley die Entstehung der Winde auf die ungleichmäßige Erwärmung der Luft zurückführte, kann es uns nicht wundernehmen, daß er sich auch mit den Methoden der Wärmemessung befaßte. Er kannte die Konstanz des Siedepunktes von Flüssig-

---

[1]) Übersichtliche Karte, welche mit einem Blick die Deklination der Magnetnadel erkennen läßt.

[2]) Die Entdeckung dieser Erscheinung erfolgte durch E. Gunter 1622.

[3]) Graham, Observations made on the variation of the horizontal needle at London. 1722–23.

[4]) Heller, Geschichte der Physik. II. S. 3·8.

keiten und brachte als oberen Fixpunkt den Siedepunkt des Alkohols in Vorschlag. Als unteren Fixpunkt empfahl er die Temperatur tiefer Keller. Auch stellte er Messungen über die Ausdehnung an, welche Wasser und Quecksilber beim Erwärmen erfahren.

Nachdem Halley seine Expeditionen, die er als englischer Flottenkapitän befehligte, vollendet hatte, wurde er zum Professor der Geometrie in Oxford ernannt. Daneben bekleidete er die Stelle des Sekretärs der Royal Society. Nach dem Tode Flamsteeds übernahm er im Jahre 1721 die Leitung der Sternwarte zu Greenwich. Auf diesem Posten hielt er bis zu seinem 1742 erfolgten Tode aus. Auf die hervorragenden Verdienste, die er sich um die Förderung der Astronomie erworben, kann erst in einem späteren Abschnitt, der sich mit der Entwicklung dieser Wissenschaft während des 18. Jahrhunderts beschäftigt, näher eingegangen werden[1].

Wir haben an einer früheren Stelle erwähnt, daß sich Cassini an der Streitfrage, welches die genauere Gestalt der Erde sei, beteiligte. Da uns in Cassini einer der hervorragendsten astronomischen Beobachter des 17. Jahrhunderts begegnet, wollen wir bei seinen Lebensschicksalen und Verdiensten noch etwas verweilen.

Giovanni Domenico (Dominique) Cassini wurde 1625 in der Nähe von Nizza geboren. Im Alter von 25 Jahren wurde er an Stelle Cavalieris zum Professor in Bologna ernannt. Cassinis erste astronomische Entdeckung bestand darin, daß er (1665) die Rotationszeit des Jupiter zu 9 Stunden und 56 Minuten bestimmte. In den folgenden Jahren dehnte Cassini seine Untersuchungen über die Rotation auf Mars und Venus aus. Er fand für diese beiden Planeten die Zeit einer Umdrehung gleich $24^{h}\ 37^{m}$, beziehungsweise $23^{h}\ 21^{m}$.

Um jene Zeit hatte Colbert die französische Akademie der Wissenschaften ins Leben gerufen und die Pariser Sternwarte errichtet. Gleich Huygens wurde nun auch Cassini zum Mitglied der Akademie ernannt und 1669 nach Paris berufen, um dort als königlicher Astronom die Leitung der Sternwarte zu übernehmen. In dieser Stellung blieb er über 40 Jahre. Er starb im Jahre 1712.

Die Berufung nach Paris hatte Cassini vor allem seiner Berechnung von Tafeln für die Jupitermonde zu verdanken[2]. Er

1) Siehe an späterer Stelle dieses Werkes (S. 387 u. f.).

2) Ephemerides Bononienses Mediceorum Siderum. Bologna 1668.

löste damit eine Aufgabe, mit der sich, wie wir schon erfuhren, Galilei während seiner letzten Lebensjahre gern beschäftigte[1]).

Erheblich bereichert wurde unsere Kenntnis des Planetensystems dadurch, daß Cassini dem ersten, von Huygens entdeckten Saturnmonde die Entdeckung von vier weiteren Trabanten des Saturn anreihte. Er nannte sie zu Ehren Ludwigs des Vierzehnten Sidera Ludovicea[2]).

Die Beobachtungen über die Jupitermonde setzte Cassini, um seine in Bologna erhaltenen Tafeln zu verbessern, in Paris fort. Hierbei fand er in Olaf Römer einen Mitarbeiter, dem es vorbehalten blieb, bei dieser Tätigkeit auf eine der größten Entdeckungen zu stoßen. Bei der Bewegung der Monde ergaben sich nämlich gewisse Ungleichmäßigkeiten, die schon Cassini auf die Vermutung brachten, „daß das Licht einige Zeit gebrauche, um von dem Monde zu uns zu gelangen.“ Cassini gab jedoch diese Ansicht wieder auf, während Römer daran festhielt und, wie wir an anderer Stelle sahen[3]), den Nachweis für ihre Richtigkeit erbrachte.

Cassini gebührt ferner das Verdienst, in Gemeinschaft mit einem jüngeren, ihm als Hilfsarbeiter zugewiesenen Astronomen[4]) die ersten umfassenderen Beobachtungen über das noch immer rätselhafte Tierkreis- oder Zodiakallicht angestellt zu haben. Der merkwürdige, während der Dämmerung mitunter sich zeigende kegelförmige Lichtschimmer, den wir mit diesem Namen bezeichnen,

[1]) Siehe S. 35 dieses Bandes.

[2]) Die vier Jupitermonde hatte Galilei gleichfalls zu Ehren seines fürstlichen Gönners als Sidera Medicea bezeichnet. Cassini entdeckte den 3., 4., 5. und 8. Mond des Saturn während der Jahre 1671—1684.

Nach der Zeit ihrer Entdeckung lassen sich die Saturnmonde in folgende Reihe bringen:

1.	Huygens	entdeckte	den	6.	Mond	im	Jahre	1655,
2.	Cassini	„	„	8.	„	„	„	1671,
3.	„	„	„	5.	„	„	„	1672,
4.	„	„	„	4.	„	„	„	1684,
5.	„	„	„	3.	„	„	„	1684,
6.	Herschel	„	„	1.	„	„	„	1789,
7.	„	„	„	2.	„	„	„	1789,
8.	Bond	„	„	7.	„	„	„	1848.

[3]) Siehe S. 247 dieses Werkes.

[4]) Nicolaus Fatio, geboren 1664 in Basel.

war schon den Arabern aufgefallen. In der europäischen Literatur begegnet uns die erste deutliche Beschreibung im Jahre 1661[1]).

Cassinis Beobachtungen über das Zodiakallicht wurden während des Zeitraums von 1683—1688 angestellt. Es ging daraus hervor, daß die Lichterscheinung der jährlichen Bewegung der Sonne folgt, im Herbst vor Sonnenaufgang wahrzunehmen ist usw. Den Ursprung der Erscheinung verlegten Cassini und sein Mitarbeiter in einen Ring von kleinen, das Licht reflektierenden Körpern, welcher die Sonne umgeben sollte.

Den Erfolgen gegenüber, welche Cassini als beobachtender Astronom zu verzeichnen hatte, sind seine Leistungen um die Fortbildung der Theorie nur unbedeutend. Cassini stand, indem er in den Anschauungen von Descartes beharrte, den Neuerungen auf diesem Gebiete sogar ablehnend gegenüber. Ein Sohn, ein Enkel und ein Urenkel Cassinis haben sich gleichfalls als Astronomen einen Namen gemacht[2]).

Neben der Optik und der Mechanik, deren Fortschritte in Verbindung mit einer Weiterentwicklung der mathematischen Wissenschaft, die Astronomie während der Newton-Huygensperiode ganz außerordentlich gefördert haben, wurden die übrigen Zweige der Physik nicht in gleichem Maße berücksichtigt. Auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre ist kaum eine nennenswerte Entdeckung zu verzeichnen; hier sollte der weitere Ausbau insbesondere dem 18. Jahrhundert vorbehalten bleiben. Dazu kam, daß das wissenschaftliche Streben in Italien nachließ und Deutschland in seiner Mitarbeit trotz der Entwicklung, welche die experimentelle Technik durch die Arbeiten Guerickes erfahren hatte, zurückblieb. Dieses Land litt unter den Folgen des dreißigjährigen Krieges. Es war verarmt und zerrüttet, während die Wissenschaften auf demjenigen Punkte angelangt waren, wo sie zu ihrer Fortentwicklung nicht nur der moralischen, sondern auch der materiellen Unterstützung weiterer Kreise bedurften. Statt dessen wandten die Machthaber Deutschlands in ihrer steten Geldbedürftigkeit immer noch dem alchemistischen Problem ihr Interesse zu

[1]) Sie rührt von dem Engländer Childrey her und wurde von ihm in seiner Brittannia Baconica veröffentlicht.

[2]) Jacques Cassini 1677—1756.
César François Cassini de Thury 1714—1784.
Jacques Dominique Cassini de Thury 1748—1845.
Letzterer leitete die Pariser Sternwarte bis 1793.

und spendeten für dessen Lösung Mittel, die eines besseren Zweckes würdig gewesen wären [1]).

Unter den wenigen Deutschen, die während der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts sich Verdienste um die Förderung der Wissenschaften erwarben, sind vor allem Tschirnhausen und Leibniz zu nennen. Ehrenfried Walter Graf von Tschirnhausen (auch Tschirnhaus) wurde 1651 in der Nähe von Görlitz geboren. Er gehört gleich Hevel und Guericke zur Klasse der reichen Privatleute, die sich im 17. Jahrhundert, angeregt durch die Erfolge der induktiven Forschungsweise, aus Liebhaberei den exakten Wissenschaften zuwandten. Tschirnhausen studierte in Leyden, wo Medizin und Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert eine ganz hervorragende Pflegstätte besaßen. Er machte dann ausgedehnte Reisen, unterhielt persönliche Beziehungen zu Leibniz und Spinoza, war auswärtiges Mitglied der französischen Akademie der Wissenschaften und starb 1708 als kursächsischer Rat in Dresden. Tschirnhausen verwandte gleich Guericke bedeutende Summen auf die Verfertigung physikalischer, insbesondere optischer Apparate. Seine aus Kupfer hergestellten Hohlspiegel, deren größter noch heute eine Sehenswürdigkeit Dresdens bildet, erreichten einen Durchmesser von 3 und eine Brennweite von 2 Ellen. Sie waren imstande, einen Taler innerhalb 5 Minuten zu schmelzen, brachten jedoch keine merkliche Erwärmung hervor, als man mit ihrer Hilfe das Licht des Mondes sammelte. Tschirnhausens Linsen besaßen bis 80 Zentimeter Durchmesser [2]). Eine von ihnen gelangte nach Florenz und ward zu den Versuchen benutzt, die man dort im Jahre 1695 über die Verbrennlichkeit des Diamanten anstellte. Im Brennpunkt dieser Linse, welche Porzellan und Bimsstein zum Schmelzen brachte, verbrannte ein Diamant von 140 Gran Gewicht innerhalb einer halben Stunde.

Durch seine Versuche mit Brennspiegeln wurde Tschirnhausen auch zu theoretischen Untersuchungen auf dem Gebiete der Optik veranlaßt. Diese Untersuchungen betrafen die katakaustische oder Brennlinie, d. h. diejenige Kurve, welche durch die Reflexion der in den Hohlspiegel fallenden Strahlen dadurch

---

[1]) Lehrreich ist in dieser Hinsicht die Geschichte Böttgers, des angeblichen Erfinders des Porzellans. Siehe dessen Biographie von Engelhardt. Siehe ferner S. 293.

[2]) Siehe Gerland: Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina Halle 1882. Eine Linse von 4,34 m Brennweite befindet sich in Cassel. Sie ist jedoch voll von Schlieren.

hervorgerufen wird, daß diese Strahlen nicht denselben Punkt der optischen Achse treffen. Sie ist mit anderen Worten der geometrische Ort der Durchschnittspunkte je zweier benachbarter reflektierter Strahlen. In der nebenstehenden Abbildung finde in A F E die Reflexion parallel einfallender Strahlen statt. Der Strahl D F werde in der Richtung F G zurückgeworfen. Ein D F benachbarter Strahl erzeugt einen von F G nur wenig abweichenden reflektierten Strahl. Beide reflektierten Strahlen schneiden sich in G. Die Schnittpunkte sämtlicher reflektierten Strahlen liegen auf der Kurve E G B, der katakaustischen, für welche die reflektierten Strahlen somit eine einhüllende Schar von Tangenten bilden.

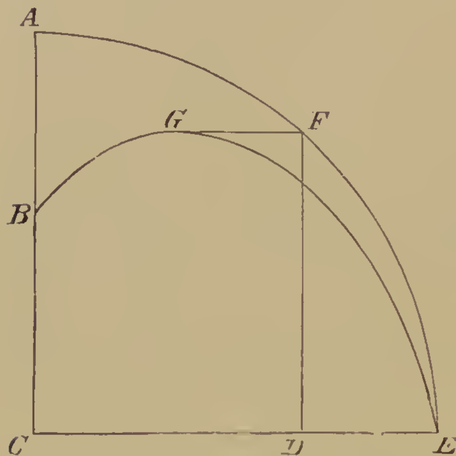


Abb. 93. Tschirnhausens Satz über die katakaustische Linie.

Tschirnhausens Satz über die Brennlinie besagt nun, daß ihr Stück E G der Summe der beiden Strahlen D F und F G gleich ist. Ausführlicher haben sich mit der Katakaustika und der infolge der Brechung erzeugten Diakaustika Johann und Jakob Bernoulli beschäftigt.

Tschirnhausen veröffentlichte seine Arbeiten größtenteils in den Actis Eruditorum, einer Zeitschrift, die für Deutschland etwa diejenige Bedeutung besaß, welche den Philosophical Transactions der Engländer zukommt. Die Acta Eruditorum, die älteste gelehrte Zeitschrift, die auf deutschem Boden entstand, wurde 1682 gegründet. Sie enthält besonders mathematische und physikalische Abhandlungen und zählte die hervorragendsten Forscher des 18. Jahrhunderts zu ihren Mitarbeitern. In dem Maße, in welchem für die einzelnen Zweige der Naturwissenschaft besondere Zeitschriften ins Leben gerufen wurden, verloren die Acta Eruditorum an Bedeutung und gingen endlich (1782) gänzlich ein.

Tschirnhausen gebührt auch aller Wahrscheinlichkeit nach das Verdienst, als erster in Europa die Darstellung des Porzellans gelehrt zu haben. Als Erfinder des europäischen Porzellans wird häufig der Alchemist Böttger genannt, der Tschirnhausen bei seinen Versuchen zur Hand ging und sich die Ehre der Erfindung beizulegen wußte. Trotzdem galt während

des 18. Jahrhunderts Tschirnhausen, und zwar wohl mit Recht, als der eigentliche Erfinder des sächsischen Porzellans. Erst als Böttgers Verdienste in einer umfangreichen Biographie[1]) hervorgehoben wurden, geriet Tschirnhausen in Vergessenheit. Die neuesten, quellenmäßigen Untersuchungen[2]) haben diesen „durch den Biographen Böttgers bewirkten, merkwürdigen Personenwechsel in der Erfindungsgeschichte des Porzellans“ aufgeklärt[3]). Nach diesen Feststellungen hat Tschirnhausen sich schon um die Darstellung des Porzellans bemüht, als Böttger kaum 10 Jahre alt war. Bekanntlich hielt August der Starke Böttger gefangen, weil dieser sein Versprechen, Gold zu machen, nicht erfüllt hatte. Tschirnhausen hatte Zugang zu Böttger und regte ihn an, anstatt der unfruchtbaren alchemistischen Bemühungen unter seiner Leitung die Herstellung des Porzellans zu versuchen. Diese Versuche glückten im Jahre 1707. Ein Jahr später starb Tschirnhausen, und Böttger, der allein um das Verfahren wußte, spielte sich als der Erfinder auf.

Ein Mann, den wir schon des öfteren erwähnten, dessen Bedeutung für die Philosophie, die Mathematik und fast alle Zweige der theoretischen und angewandten Naturwissenschaften sich in den wenigen Zeilen, die wir seiner Biographie hier widmen können, nicht erschöpfend darstellen läßt, war Leibniz. Man hat ihn als den Aristoteles des 17. Jahrhunderts bezeichnet. Allerdings begegnet uns in Leibniz eine polyhistorische Gelehrsamkeit verbunden mit einer Selbständigkeit des Denkens, wie sie kaum wieder gefunden werden. Während diese Geistesanlage Aristoteles zu einer systematischen Bearbeitung der Philosophie und der Naturwissenschaften führte, blieb die Tätigkeit, die Leibniz entfaltete, allzusehr zersplittert. Selbst seine wichtigsten philosophischen Schriften wie die Theodicee und die Monadologie verfaßte er, um sich mit hohen Persönlichkeiten über die Grundfragen der Philosophie auseinanderzusetzen. Und noch mehr tragen die übrigen Veröffentlichungen, die sich auf alle Gebiete menschlichen Denkens und Handelns erstrecken, den Charakter unter sich in nur geringem inneren Zusammenhange stehender Gelegenheitsschriften.

---

[1]) Von K. A. Engelhardt.

[2]) Von Peters, Reinhardt, Diergart und anderen.

[3] Siehe das Referat Diergarts in den Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften. Bd. V. S. 534.

Gottfried Wilhelm Leibniz wurde am 21. Juni 1646 in Leipzig geboren, wo sein Vater ein akademisches Lehramt bekleidete. Über den Entwicklungsgang, den Leibniz während der ersten Jahrzehnte seines Lebens nahm, hat er selbst ausführliche Mitteilungen hinterlassen[1]). Er lernte als Knabe lateinisch ohne Mithilfe eines Lehrers. Überhaupt war er in den meisten Dingen Autodidakt, dabei aber stets begierig „alle Dinge tiefer zu durchdringen und Neues zu finden.“ Da ihm die Bibliothek seines Vaters zur Verfügung stand, lernte er fast noch als Kind die alten Schriftsteller, insbesondere Aristoteles kennen. Er las auch scholastische Schriften. Durch das Studium der Cartesischen Werke fand in ihm die Wandlung von der teleologischen Weltanschauung zur Erfassung des Kausalitätsprinzipes statt. Leibniz bekennt in einem späteren Schreiben, erst als er die Schule verlassen habe, sei er mit den Schriften der neueren Philosophen bekannt geworden. Er erinnere sich, daß er damals als fünfzehnjähriger Knabe spazieren ging und überlegte, ob er in der scholastischen Betrachtungsweise beharren solle. „Endlich siegte die mechanische Theorie und brachte mich dazu, die mathematischen Wissenschaften zu studieren“.

Mit fünfzehn Jahren bezog Leibniz die Universität seiner Vaterstadt. Sein Fachstudium war die Rechtsgelehrsamkeit. Nach Beendigung seines Studiums wollte man ihn „seiner Jugend wegen“ nicht zur Promotion zulassen. Aus diesem Grunde erwarb er (1666) die Doktorwürde in Altdorf, wo ihm seines hervorragenden Wissens und seiner Beredsamkeit wegen sofort eine Professur angeboten wurde. Leibniz schlug sie aus und ging nach Nürnberg. Dort trat er mit der alchemistischen Gesellschaft der Rosenkreuzer in Beziehung. Er war ein Jahr im Dienste dieser Gesellschaft tätig und hatte alchemistische Werke zu exzerpieren, die Korrespondenz zu führen usw. Wenn sich auch Leibniz nicht an der Lösung alchemistischer Probleme beteiligte, so bewahrte er ihnen doch stets ein lebhaftes theoretisches Interesse[2]). Von den praktischen Zielen der Alchemisten will er nichts wissen. Er wünscht sogar in einer im späteren Alter abgefaßten Schrift[3]), daß die künstliche Erzeugung von Gold und Silber, wenn sie gelingen sollte, um des gemeinen Besten willen unterdrückt werden

[1]) Vita a se ipso breviter delineata (kurze Selbstbiographie).

[2]) Kopp, Geschichte der Alchemie. Bd. I. S. 233.

[3]) Miscellanea Berolinensia, Berolini 1710. S. 16 ff.

möge. Erstrebenswert erscheint ihm dagegen, „aus dem Golde die Quintessenz herauszuziehen, wie aus dem Wein den Weingeist, und mit dieser Quintessenz ein anderes Metall in Gold zu verwandeln“. Er meint, das würde nichts einbringen, sondern eher etwas kosten, es würde aber die Naturerkenntnis fördern. Resigniert fügt er jedoch hinzu, auch die Verwirklichung dieser letzten Aufgabe sei nicht wahrscheinlich.

Nachdem Leibniz Nürnberg verlassen hatte, trat er in den Dienst des Kurfürsten von Mainz, der sich für Guerickes Versuche so lebhaft interessiert hatte[1]). Von Mainz ward Leibniz in diplomatischer Sendung 1672 nach Paris geschickt. Es galt, Ludwig XIV. zu einem Zuge nach Ägypten zu bewegen, um dadurch Deutschland vor den Eroberungsgelüsten dieses Königs zu bewahren. Der Gedanke einer solchen Expedition rührte von Leibniz her und wurde dem Könige in einer von dem deutschen Philosophen ausgearbeiteten Denkschrift unterbreitet. Blieben diese diplomatischen Bemühungen auch ohne Erfolg, so war der Aufenthalt in Paris für Leibniz doch von der größten Bedeutung. Er wurde hier mit vielen bedeutenden Männern, vor allem mit Huygens bekannt. Durch den persönlichen Einfluß dieses Mannes und durch das Studium des Huygensschen Werkes über die Pendeluhr wurde das Interesse, welches Leibniz der Mathematik und der Mechanik schon früher entgegengebracht hatte, von neuem entfacht. Auf die schon in Nürnberg gemachte Erfindung der Rechenmaschine folgte diejenige der Differentialrechnung. Beide Erfindungen, sowie der sich an die zweite anknüpfende Prioritätsstreit mit Newton werden uns an anderer Stelle noch beschäftigen.

Von Paris kehrte Leibniz 1676 über London nach Deutschland zurück. Er wurde Bibliothekar in Hannover, wo er den größten Teil seines Lebens zugebracht hat. Das von Leibniz geschaffene philosophische System erregte das besondere Interesse von Sophie Charlotte, der Großmutter Friedrichs des Großen, der später Leibniz nachrühmte, er habe selbst eine Akademie vorgestellt. Sophie Charlotte bewog ihren Gemahl, den späteren König Friedrich I., auf den von Leibniz ausgehenden Vorschlag hin im Jahre 1700 in Berlin eine Akademie, die „Societät der Wissenschaften“ zu errichten. Leibniz wurde deren erster Präsident. Auch zur Errichtung der Petersburger Akademie hat

---

[1]) S. S. 168.

Leibniz durch seine persönliche Einwirkung auf Peter den Großen die Anregung gegeben[1]). Im gleichen Sinne hat er in Dresden und in Wien gewirkt. Durch diese Veranstaltungen sollte nach seinem Plane die Wissenschaft nicht nur gefördert, sondern auch zum Gemeingut vieler gemacht werden. Die Aufklärung der Mitwelt war vor allem das Ziel des großen Philosophen und auf diesem Wege sind ihm während des 18. Jahrhunderts Männer wie Christian Wolf, der die Leibnizsche Philosophie popularisierte, Basedow, dessen Verdienste auf dem Gebiete des Erziehungwesens liegen, ja selbst ein Lessing und ein Herder gefolgt.

Leibniz starb in Hannover am 14. November 1716. Es mag bei der Erwähnung seines Todes ein bedauerlicher Zug früheren deutschen Wesens nicht unberührt bleiben. Von Leibniz berichtet der Chronist „man habe ihn eher wie einen Wegelagerer begraben, denn wie einen Mann, der eine Zierde seines Vaterlandes gewesen.“ Vom Hofe erschien niemand, kein Geistlicher geleitete den Sarg[2]). Als dagegen ein Jahrzehnt später Newton in der Westminsterabtei beerdigt wurde, trugen der Lord-Oberkanzler und Herzöge das Leichentuch. Solche Züge verdienen zur Mahnung für kommende Geschlechter erwähnt zu werden.

---

1) Die Eröffnung der Petersburger Akademie fand zwar erst nach Peters Tode statt.

2) Die Pariser Akademie ehrte Leibniz durch eine Gedenkfeier, während die Berliner von dem Tode ihrers Begründers und bedeutendsten Mitgliedes keine Notiz nahm.

13. Unter dem Einfluß der chemisch-physikalischen Forschung entstehen die Grundlagen der neueren Mineralogie und Geologie.

Den Ausgangspunkt für die Darstellung der meisten chemischen Verbindungen bilden die Mineralien. In dem Maße, wie eine wissenschaftlichen Zielen zustrebende Chemie emporwuchs, trat dem praktischen Interesse an den Mineralien, von dem Agricola z. B. noch vorzugsweise geleitet wurde, das wissenschaftliche an die Seite. Es erhob sich die Frage nach der Zusammensetzung und Entstehung nicht nur der Mineralien, sondern der starren Erdrinde überhaupt. Um die Beantwortung dieser Frage hat sich niemand während des 17. Jahrhunderts mit gleichem Scharfsinn und mit gleichem Erfolge bemüht wie Steno.

Nikolaus Steno oder Stenon wurde 1631 in Kopenhagen geboren, widmete sich in Paris dem Studium der Medizin und war in den sechziger Jahren des 17. Jahrhunderts Leibarzt am Hofe in Florenz. Im Jahre 1672 kehrte Steno auf den Wunsch seines Königs (Christian V.) nach Kopenhagen zurück, um dort eine Professur für Anatomie zu übernehmen. Er verließ jedoch sein Vaterland bald wieder, da er dort seiner religiösen Überzeugung wegen belästigt wurde, und starb, nachdem er sich an verschiedenen Orten Deutschlands aufgehalten, im Jahre 1687 in Schwerin. Sein Leichnam wurde auf Wunsch des Mediceers Kosmos III. nach Florenz übergeführt und in St. Lorenzo beigesetzt.

Steno befaßte sich eingehend mit der Erforschung der Bodenverhältnisse Toskanas. Die Frucht dieser Untersuchungen war eine Arbeit, die zum erstenmale die Grundlagen der geologischen Wissenschaft in klarer, durch Profile erläuterter Darstellung entwickelte, während die Literatur vor Steno nur vereinzelt zutreffende Bemerkungen über geologische Dinge enthält[1]).

---

[1]) Steno. de solido inter solidum naturaliter contento, Florenz 1669. Ein von Élie de Beaumont herrührender Auszug dieser Schrift findet sich in den „Annales de sciences naturelles“. XXV. pag. 337.

Zunächst bemühte sich Steno darzutun, daß weder die Mineralien noch die Schichten, welche die Gebirge zusammensetzen, erschaffene, von Anbeginn vorhandene Naturkörper sind, als welche sie im Gegensatz zu der vergänglichen Tier- und Pflanzenwelt wohl der naiven Betrachtung erscheinen. Wie sehr diese in geologischen Dingen zur Zeit Stenos noch vorherrschte, erkennt man daraus, daß er sich ausdrücklich gegen die Meinung wendet, die Berge seien nach Art der Pflanzen gewachsen, oder sie seien mit dem Knochengerüst der Tiere zu vergleichen.

Die Mineralien, deren am Bergkristall, Schwefelkies, Eisenglanz und Diamant auftretende Formen Steno beschrieb, wachsen nach ihm durch Ansatz von außen. Dieser Ansatz geschehe indessen nicht auf allen Flächen gleichmäßig. Die Folge seien Verzerrungen der mathematischen Form, während die Neigung der begrenzenden Flächen stets dieselbe bleibe.

Steno machte seine Beobachtungen besonders am Bergkristall, einem Mineral, das seit den ältesten Zeiten der auffallenden Form und der Größe seiner Kristalle, sowie seiner Durchsichtigkeit wegen die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt hatte. Steno tritt der Meinung, daß der Bergkristall durch Kälte oder im Feuer entstanden oder gar im Anbeginn der Welt geschaffen sei, entgegen. Kristalle sind nach seiner Meinung aus Lösungen entstanden und können durch geeignete Mittel wieder in Lösung übergeführt werden. Darauf weisen, wie er ausführt, auch die verschiedenfarbigen Schichten hin, aus denen die Kristalle mitunter zusammengesetzt sind. Zum Beweise seiner Ansicht läßt Steno verschiedene Salze, wie Vitriol und Alaun, aus einer Lösung kristallisieren und findet hierbei ähnliche Erscheinungen, wie sie an Mineralien auftreten. Nicht nur die Schichtung und die Verzerrungen der Form, sondern auch

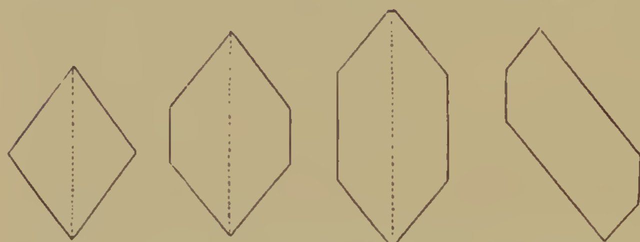


Abb. 94. Stenos Zeichnungen von Längsschnitten durch Bergkristalle.

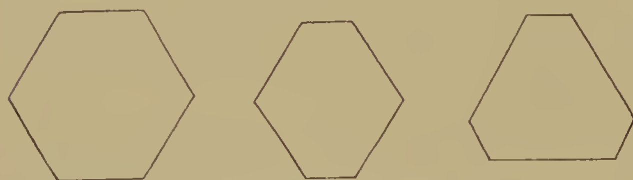


Abb. 95. Stenos Zeichnungen von Querschnitten durch Bergkristalle.

die treppenförmigen Absätze, die Einschlüsse von Flüssigkeiten usw. erklärt Steno aus der Bildungsweise der Kristalle. Die verschiedene Ausdehnung der Flächen unter Beibehaltung der Winkel erläutert er durch die hier wiedergegebenen, sehr lehrreichen Abbildungen der Quer- und Längsschnitte durch verschiedenartig ausgebildete Bergkristalle (Abb. 94 und 95). Steno hat also schon das Grundgesetz der Mineralogie, das Gesetz von der Konstanz der Kantenwinkel, klar ausgesprochen, wenn es auch in seiner Allgemeingültigkeit erst in dem nachfolgenden Jahrhundert von Romé de l'Isle erkannt wurde.

Die bekannte Erscheinung, daß die Prismenflächen des Bergkristalls quergestreift sind, erklärt Steno durch die Annahme, daß solche Flächen durch die Aggregation zahlreicher Pyramiden entständen, die sich in der Längsrichtung des Kristalles aneinander gereiht hätten.

Während die Mineralien aus wässerigen Lösungen auskristallisieren, ein Vorgang, den Steno aus einer Art magnetischer Kraft erklären wollte, sind die Felsschichten durch Absatz vorher im Wasser schwebender Teilchen entstanden. Letztere haben, dem Gesetz der Schwere zufolge, Schichten von ursprünglich horizontaler Lage gebildet. Für den Absatz aus dem Wasser spricht nach Steno auch die Tatsache, daß die niedersinkenden Teilchen sich den Körpern, welche sie einschließen, genau angepasst haben und ihre kleinsten Höhlungen ausfüllen.

Jeder Wechsel in der Beschaffenheit des Gesteinsmaterials, das die Schichten zusammensetzt, weist nach ihm auf eine Änderung der Entstehungsbedingungen hin. Sei es, daß die Flüssigkeit, aus welcher die Schichten sich bildeten, dem periodischen Wechsel der Jahreszeiten unterworfen war, oder daß sich ihre Zusammensetzung änderte.

Enthält eine Schicht Seesalz, sowie Überreste von Meeresbewohnern, so muß man annehmen, daß sich das Meer einst dort befand, wo wir die Schicht jetzt antreffen; sei es nun, daß das Meer einst höher stand, sei es, daß das Land sich senkte. Aus Abdrücken von Gräsern und Simsen, Versteinerungen von Baumstämmen usw. schließt Steno auf den terrestrischen Ursprung derjenigen Schicht, in welcher solche Überreste enthalten sind. Er nimmt an, daß derartige Bildungen von der Überschwemmung eines Flusses oder dem Hereinbrechen eines Bergstromes herrühren.

Mit außerordentlicher Klarheit entwickelt Steno eine allgemeine Schichtenlehre (Stratigraphie), deren Grundzüge wir hier

nach seinen Angaben kurz skizzieren wollen. Die Bildung jeder Schicht setzt eine feste Unterlage voraus. Die oberen Schichten sind daher ihrer Entstehung nach jünger als die unteren. Jede Schicht wird von zwei parallelen Ebenen eingeschlossen und besaß ursprünglich, weil sie sich aus einer Flüssigkeit niederschlug, eine horizontale Lage. Jede Schicht muß aber auch seitlich begrenzt sein, wenn man nicht Grund zu der Annahme hat, daß sie sich über die ganze Erdkugel erstreckt. Wo man einer Schicht begegnet, muß man daher entweder ihre Fortsetzung finden, oder andere feste Körper, die ihre weitere Ausdehnung verhinderten[1]).

Wenn man heute senkrechte oder geneigte, ja selbst gebogene Schichten antrifft, führt Steno weiter aus, so sind sie erst nachträglich durch die gebirgsbildenden Kräfte aus der ursprünglich horizontalen Lage in ihre jetzige Lage gebracht worden. Auf eine gewaltsame Unterbrechung einer ursprünglich ein Ganzes bildenden Schicht weise auch der Umstand hin, daß man an den einander gegenüber befindlichen Abhängen der Gebirge häufig abgebrochene Schichten finde, welche in bezug auf ihre Substanz und ihr Aussehen völlige Übereinstimmung zeigen.

Die Gebirgsbildung selbst wird auf zwei Kräfte zurückgeführt, die aus dem Erdinnern heraus wirkende vulkanische Kraft und die Tätigkeit des Wassers, das in Gestalt von Regen und der Flüsse die durch den Wechsel von Wärme und Kälte zerbrochenen Schichten durchziehe und die Oberfläche der Erde gestalten helfe.

Nicht richtig gedeutet werden die Kohlenlager. Sie werden nämlich auf durch Wasser gelöschte Waldbrände zurückgeführt.

Steno unterschied, wie ihm A. v. Humboldt[2]) nachrühmt, zum erstenmal diejenigen Felsschichten, welche schon vor der Existenz der Pflanzen- und Tierwelt vorhanden waren und infolgedessen keine organischen Überreste einschließen, von den späteren Schichten, die jenen aufgelagert und mit organischen Resten angefüllt sind. „Er ließ für den Boden Toskanas nach Art unserer heutigen Geologen sechs große Naturepochen zu, innerhalb deren das Meer periodisch das feste Land überschwemmte oder sich in seine alten Grenzen zurückzog“[3]).

In der ältesten Zeit habe das Meer die gesamte Erde bedeckt und diejenigen Schichten gebildet, welche heute den Kern und

---

[1]) Annales des sciences naturelles. XXV. S. 347.

[2]) Humboldt, Essai géognostique. Paris 1823. pag. 38.

[3]) Humboldt a. a. O.

die höchsten Kämme der Gebirge bilden. Daß diese Schichten keine Versteinerungen führen, beweise, daß das Urmeer noch keine Bewohner gehabt habe. Dann erfolgte die Bildung von Festland. In der dritten Periode setzte dann die Gebirgsbildung ein.

Daß die Schichten nur selten ihre ursprünglich horizontale Lage beibehielten, sondern in der Regel in geneigter und selbst in senkrechter Stellung angetroffen werden, führt Steno auf zwei Ursachen zurück. Entweder wurden die Schichten durch Stöße zertrümmert, die aus der Tiefe kamen, oder es erfolgte ein Einsturz, indem die unteren Schichten durch die Tätigkeit des Wassers fortgeführt und dadurch die oberen ihrer Stütze beraubt wurden.

In der vierten Periode erfolgte eine neue Überflutung, und es bildeten sich infolgedessen die Versteinerungen führenden Schichten. Dann trat der Boden wieder aus der Wasserbedeckung hervor, und in der letzten (sechsten) Periode erhielten die Gebirge durch die erodierende Tätigkeit des Wassers und infolge vulkanischer Eruptionen ihre heutige Form, während sich an den Flußmündungen (Deltabildung) und im Meere neue Sedimente bildeten.

Infolge der mannigfachen durch vulkanische Hebung oder durch Einsturz hervorgerufenen Schichtenstörung hatten sich Spalten gebildet, in welchen sich Mineralien absetzten.

Diese Darstellung der Erdgeschichte wußte Steno durch schematische, die Bodenverhältnisse Toskanas im besonderen betreffende Zeichnungen zu erläutern, in welchen uns die ersten geologischen Profile begegnen. Zu bedauern bleibt es, daß Steno seine Ansichten über die Entwicklung der Erde mit der biblischen Schöpfungsgeschichte möglichst in Einklang zu bringen suchte. Wäre er gänzlich frei von allen Nebenrücksichten an seinen Gegenstand herangetreten, so würden die Ergebnisse seiner Forschungen das Wesen der geologischen Veränderungen noch klarer widergespiegelt haben. Nichtsdestoweniger verdient Steno den schönen Ruhmestitel, daß er seiner Zeit weit vorauseilte und Entdeckungen machte, die erst Jahrhunderte nach seinem Tode ihren Platz unter den anerkannten wissenschaftlichen Wahrheiten finden sollten.

Zu den ersten Schriften, die sich mit dem inneren Bau und der Entstehung der Erde befaßten, gehört auch Kirchers „Unterirdische Welt“[1]), ein Werk, dessen Bedeutung darin besteht,

[1]) Athanasius Kircher, Mundus subterraneus, in quo universae naturae majestas et divitiae demonstrantur. 2 vol. fol. Amsterdam 1664.

Der gelehrte Jesuit Kircher wurde 1602 in der Nähe von Eisenach

daß es die erste, allerdings noch mit vielen Mängeln behaftete physikalische Erdbeschreibung ist.

Kirchers Buch entsprang weniger dem Forschungstriebe als der polyhistorischen, oft mit Kritiklosigkeit verbundenen Gelehrsamkeit seines Verfassers. Die vulkanischen Erscheinungen jedoch wurden auf Grund eigener, in Mittelitalien, Sizilien und auf den liparischen Inseln angestellter Beobachtungen geschildert. Von besonderem Wert sind die den Vulkanismus betreffenden Abschnitte dadurch, daß Kircher es unternimmt, alle geschichtlich bekannt gewordenen Ausbrüche der südeuropäischen Vulkane, sowie die historisch verbürgten Umgestaltungen der Meeresküsten aufzuzählen. Ein phantastisches Gemälde ist Kirchers Schilderung des Erdinnern. Er stellt sich letzteres als von zwei Systemen von verzweigten Kanälen durchzogen vor. In dem einen System bewegt sich eine glutflüssige Masse, die in den Vulkanen zutage tritt; das andere System wird dagegen vom Meere aus mit Wasser versorgt und speist seinerseits die Quellen. Eingehender werden die Bodenbestandteile beschrieben. Die Versteinerungen, welche sich in den Schichten der Erdrinde finden, werden nur zum Teil auf frühere Lebewesen zurückgeführt, manches dagegen wird in aristotelischer Weise aus einer plastischen Kraft der unorganischen Materie erklärt. Erwähnenswert ist noch, daß sich bei Kircher die ersten Angaben über die mit dem Eindringen in das Erdinnere verknüpfte stetige Zunahme der Temperatur finden. Seine diesen Gegenstand betreffenden Angaben verdankte er den Bergleuten.

Descartes und Leibniz beschäftigten sich mit der Frage nach der Entstehung unserer Erde. Descartes entwickelt seine Anschauungen über das Weltsystem und die Physik der Erde im zweiten Teile seines Hauptwerkes[1]), nachdem er zuvor die Prinzipien der Erkenntnistheorie und der Mechanik dargestellt. Die Erde und die übrigen Planeten waren nach Descartes ursprünglich glühende Sonnen. Infolge der Abkühlung bildete sich eine starre Rinde. Diese enthält die leichteren Bestandteile des Erdkörpers, während sich die schwereren Elemente um den Mittelpunkt sammelten. Infolge des Zerbrechens der Rinde entstanden Meere und Festländer, Berge und Täler.

---

geboren. Er wirkte als Lehrer der Mathematik in Rom, wo er das Museum Kircherianum gründete, und starb dort 1680.

[1]) Principia philosophiae. 1644.

Die Erdbeben führte Descartes auf die Wirkung einer noch im Innern vorhandenen flüssigen Masse zurück. Er gelangte also schon zu ähnlichen Anschauungen, wie sie die moderne Geologie auf Grund eines viel eingehenderen Studiums der geologischen Vorgänge entwickelt hat. Dieses Verdienst des Descartes um die Begründung der Kosmologie und der Geologie ist neuerdings in Frankreich besonders gewürdigt worden[1].

Ähnliche Ansichten, wie sie Descartes entwickelt, äußerte einige Jahrzehnte später der große deutsche Philosoph Leibniz über die Urgeschichte der Erde in seiner „Protogaea". Neben mancher phantastischen Vorstellung enthält diese Schrift auch zahlreiche treffende Bemerkungen. Leibniz nimmt an, die Planeten seien aus der Sonne hervorgegangen und daher ursprünglich glühend flüssig gewesen. Durch Abkühlung hätten sich zuerst auf der geschmolzenen Masse schwimmende Schlacken gebildet, wie sie noch heute auf der Sonne entständen und unseren Augen als Sonnenflecken sich bemerkbar machten. Endlich sei eine zusammenhängende, erkaltete Rinde entstanden, während die Hitze im Innern aufgespeichert blieb. Infolge der Abkühlung verdichtete sich auch das Wasser, das im Urzustande der Erde Dampfform besaß. Auf diese Weise entstand das Urmeer als eine Lösung der an der erkalteten Oberfläche befindlichen Salze. Die glasartige Grundmasse der Erde wurde in der folgenden Periode teils durch die lösende Kraft und die Bewegung des Wassers, teils durch die vereinte Wirkung von Salzen und Hitze auf mancherlei Art zerfressen und zerstört, so daß sich die obere Schicht dieser Grundmasse in Schlamm verwandelte. Indem sich die erkaltete Rinde zusammenzog, entstanden Sprünge, Erhöhungen und Vertiefungen. Die von den bergigen Erhöhungen abfließenden Gewässer führten Schlamm mit sich und bildeten neue Gesteinsschichten. Die Gesteine, sagt Leibniz, besitzen also einen doppelten Ursprung; teils entstanden sie aus dem Schmelzfluß, teils wuchsen sie nach der Zerteilung im Wasser wieder zusammen. Durch die Spalten der Rinde drang das Wasser auch in das noch jetzt glutflüssige Erdinnere und rief dort einen Kampf hervor, der sich noch heute in den Vulkanausbrüchen und den Erdbeben äußert. Die Versteinerungen führt Leibniz ausnahmslos auf frühere Lebewesen zurück. Ausführlich bespricht er die Fischabdrücke des

[1]) G. Daubrée, Descartes l'un des créateurs de la Cosmologie et de la Géologie. Paris 1880.

Mansfelder Kupferschiefers, wie denn überhaupt die „Protogaea" wohl als die Frucht seiner Beschäftigung mit dem Bergbau des Harzes zu betrachten ist, zu welcher seine amtliche Stellung in Hannover ihm den Anlaß bot[1]). Die Erklärung, welche Leibniz über die Entstehung der Mansfelder Fischabdrücke gab, kann auch heute noch als im wesentlichen zutreffend gelten. „Denken wir uns," sagt er, „es sei ein großer See mit seinen Fischen entweder durch ein Erdbeben oder durch Schlammfluten mit Erde angefüllt worden. Dieser Schlamm wird dann, als er zu Stein wurde, in die ursprünglich weiche Masse eingedrückte Spuren jener Fische behalten haben. Erst später, als die organischen Überreste längst vergangen waren, wurden diese Spuren mit Kupferkies ausgefüllt."

Es ist, wie wir erkennen, ein lebensvolles und in manchen Punkten auch nach dem heutigen Standpunkte noch zutreffendes Bild, das Leibniz von der Entstehung der Erde entwirft. Überzeugt von der Neuheit und der Wichtigkeit seines Gegenstandes, ruft er aus, man möge seine Ausführungen nur als einen Versuch betrachten. Die Nachwelt werde alles besser feststellen können, wenn sie die Arten der Erdschichten und ihren Verlauf erforschen werde. Die bisherige Vernachlässigung dieser so wichtigen Aufgabe entlockte ihm sogar den unwilligen Ausruf: „Oft ärgere ich mich über die menschliche Faulheit, welche die Augen nicht öffnet, noch die offenkundige Wissenschaft in Besitz nehmen mag." Das 17. Jahrhundert war eben das Zeitalter, in welchem die Menschheit erst mit Erfolg in dem Buche der Natur zu lesen begann.

Zu bemerkenswerten Ansichten gelangte auch Hooke[2]). Er lehrte, daß die Versteinerungen, die man in früheren Jahrhunderten für Naturspiele oder für bloße Ansätze einer in der Erde waltenden schöpferischen Kraft gehalten hatte, aus dem Tier- und Pflanzenreiche stammen müßten. Hooke erklärte, die Versteinerungen seien wertvollere Dokumente als Manuskripte und Münzen, da sie nicht gefälscht werden könnten und fordert, aus dem Auftreten der Versteinerungen die Geschichte der Erde zu enträtseln. Über den Versteinerungsprozeß selbst äußerte Hooke manche zutreffende Meinung.

Er suchte ferner darzutun, daß die Petrefakten Englands zum größten Teile ausgestorbenen Gattungen angehören und am meisten

[1]) Zittel, Geschichte der Geologie und Paläontologie.
[2]) Hooke, Lectures on Earthquakes, 1688.

mit noch heute lebenden exotischen Formen übereinstimmen. Daraus zog er den Schluß, England müsse sich in früheren Epochen der geologischen Entwicklung unter dem Meere einer heißen Zone befunden haben. Ferner wurden die Knochen großer Vierfüßer, die man vorher als Beweise für die frühere Existenz von Riesen angesehen hatte, als Überreste von Individuen der Gattung Elephas gedeutet[1]).

Von besonderem Interesse ist auch der Versuch, die unterirdische Wärme als eine Folge chemischer Vorgänge hinzustellen, eine Annahme, die in unseren Tagen wieder ihre Verfechter gefunden hat. Es zeigten sich sogar die ersten Regungen einer experimentellen Geologie. So versuchte ein französischer Forscher[2]) einen Vulkan im kleinen dadurch nachzuahmen, daß er ein feuchtes Gemenge von Schwefel und Eisen vergrub. Diese Masse erhitzte sich unter dem Einflusse des aus der Luft hinzutretenden Sauerstoffs so sehr, daß unter Zerbersten der Bedeckung eruptionsartige Erscheinungen vor sich gingen.

Für die Begründung der neueren Mineralogie im 17. Jahrhundert ist es bezeichnend, daß genauere Beobachtungen an einzelnen, besonders auffallenden Mineralien gemacht wurden, ohne daß man dazu überging, die gewonnenen Ergebnisse auf die übrigen Mineralien auszudehnen. Ein vergleichendes mineralogisches Studium blieb einem späteren Zeitalter vorbehalten. Steno hatte seine Forschungen insbesondere am Bergkristall angestellt. Ein anderes Mineral, das im 17. Jahrhundert die Aufmerksamkeit der Naturkundigen in hohem Grade auf sich lenkte, war der isländische Doppelspat. Durch dänische Kaufleute gelangte dieses merkwürdige Mineral in die Hände Bartholins, der ihm die eingehendste Untersuchung widmete.

Erasmus Bartholinus, der Entdecker der Doppelbrechung, wurde 1625 in Dänemark geboren. Er studierte Medizin, bereiste das westliche Europa und Italien und wurde 1656 Professor der Mathematik in Kopenhagen. Er starb 1698.

Bartholin schrieb einige mathematische und astronomische Werke; er ist aber besonders durch seine Schrift über den isländischen Doppelspat und dessen optische Eigenschaften bekannt geworden[3]). Die Schrift enthält eine Monographie über das erwähnte

---

1) Dies geschah durch Langmantel im Jahre 1688.

2) N. Lemery.

3) Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur; Havniae 1669.

Mineral, die so eingehend und genau ist, daß man in Anbetracht der Bartholin zu Gebote stehenden Hilfsmittel und Vorarbeiten nicht mehr erwarten kann. Bartholin beschränkt sich nicht auf eine bloße Beschreibung der Kristallform, sondern er mißt die an den begrenzenden Flächen auftretenden Winkel, deren Werte er gleich 101° und 79° ermittelt. Er zeigt, daß von den beiden Bildern, die man durch den Doppelspat erblickt, das eine sich beim Drehen des Kristalls bewegt, während das andere still steht; daß man aber in gewisser Richtung nur ein Bild wahrnimmt. Bartholin weist ferner nach, daß das Auftreten von zwei Bildern nicht etwa durch eine Spiegelung, sondern durch ein ganz ungewöhnliches Verhalten hervorgerufen werde, indem das feste Bild durch eine gewöhnliche Brechung, das bewegliche dagegen durch eine außergewöhnliche Refraktion entstehe. Das Gesetz der letzteren vermochte Bartholin nicht zu ermitteln, auch entging ihm die Polarisation des durch den Kalkspat gegangenen Lichtes. Ihre Entdeckung blieb Huygens vorbehalten.

Die weitere Untersuchung Bartholins betraf die physikalische und chemische Natur des Doppelspats. Es zeigte sich, daß der Kristall, mit Tuch gerieben, wie der Bernstein Strohhalme und andere leichte Körper anzieht, daß er unter Wasser seine Glätte allmählich verliert, mit Scheidewasser aufbraust, durch starke Hitze in Kalk verwandelt wird usw. Kurz, der Doppelspat wurde weit genauer untersucht, als es bis dahin mit irgend einem anderen Mineral geschehen war. Daß die Arbeit Bartholins den großen Physiker Huygens zu einer Nachuntersuchung des Doppelspats und zu wichtigen Betrachtungen über die Natur des Lichtes anregte, ist der Gegenstand eines früheren Abschnittes gewesen. Huygens hat auch seinen Landsmann Leeuwenhoek veranlaßt, eine monographische Abhandlung über den Gips zu liefern[1]. Leeuwenhoek wurde durch diese Arbeit mit mehreren wichtigen mineralogischen Tatsachen bekannt. Er wies darauf hin, daß die Spaltbarkeit gewissen Gesetzen folgt und daß beispielsweise die Winkel der durch Spaltung aus dem Gips erhaltenen rhomboidischen Tafeln 112° und 68° (genauer 113° 46′ und 66° 14′) betragen. Ferner zeigte er, daß das beim Glühen aus dem Gips entweichende Wasser ein Fünftel vom Gewicht des Minerals ausmacht. Er brachte ferner Gips in Lösung, indem er das gebrannte Mineral mit Wasser über-

[1] Arcana naturae detecta ab Antonio van Leeuwenhoek. 1695. p. 124.

goß und nachwies, daß sich aus dieser Lösung beim Verdunsten des Wassers Kristalle ausscheiden. Diese Versuche veranlaßten ihn auch, über die Bildung der Mineralien im Innern der Erde Betrachtungen anzustellen, die indessen wenig Zutreffendes enthielten.

Eine größere Summe von Erfahrungen und Beobachtungen lag bezüglich der Edelsteine vor. Auch ihnen wurde eine monographische Bearbeitung zuteil. Und zwar geschah dies durch den in erster Linie als Physiker bekannten Robert Boyle[1]. Auch er gelangte zu dem Ergebnis, daß die Mineralien aus dem flüssigen Zustande sich gebildet hätten, und zwar in derselben Weise, wie Salze in Kristallform aus der Lösung ausgeschieden würden. Für diese Ansicht führt Boyle einige bemerkenswerte Gründe an[2]. So habe man Bergkristall und andere Mineralien mit flüssigen Einschlüssen gefunden. Ferner sei die Farbe der meisten Edelsteine durch Beimengungen hervorgerufen, die in der Regel durch die ganze Masse gleichmäßig verteilt seien, mitunter aber stellenweise oder gänzlich fehlten. Auch daß die Mineralien wie die aus wässeriger Lösung entstandenen Salze spaltbar seien, spreche für die gleiche Art der Entstehung.

Boyle weist darauf hin, daß es auch eine Kristallisation aus dem Schmelzfluß gebe; er untersucht diesen Vorgang genauer, und zwar am Wismut, prüft auch den Einfluß der durch rasche Abkühlung beschleunigten Kristallisation auf die Beschaffenheit der Kristalle. Er weist ferner im Granat durch die Analyse und durch die Wirkung des Magneten einen Eisengehalt nach, bestimmt das spezifische Gewicht vieler Mineralien. Kurz, er bereichert die mineralogische Wissenschaft um eine nennenswerte Summe von Einzelkenntnissen, so daß er neben Steno und Bartholin als einer ihrer Begründer genannt zu werden verdient.

Zu der Zeit, als der Engländer Boyle sich bemühte, die Mineralogie und die Chemie auf eine wissenschaftliche Grundlage zu erheben, waren die deutschen Chemiker Kunkel und Becher noch in alchemistischen Vorstellungen befangen. Kunkel (1630 bis 1702) hat indes trotz der Verkehrtheit seiner Ansichten die Chemie durch zahlreiche Beobachtungen bereichert.

Eine der wichtigsten chemischen Entdeckungen des 17. Jahrhunderts war diejenige des Phosphors. Der Hamburger Kaufmann

---

1) Näheres über Boyle siehe S. 188 dieses Werkes.

2) Specimen de Gemmarum origine et virtutibus autore Roberto Boyle. 1673.

Brand ließ sich bei seinen alchemistischen Versuchen von der Vorstellung leiten, daß die im Organismus tätigen Kräfte allein imstande seien, die Metallverwandlung zu bewirken. Er unterwarf daher den beim Eindampfen von Urin erhaltenen Rückstand der trockenen Destillation. Dabei wurden die phosphorhaltigen Verbindungen des Urins durch die infolge des Erhitzens aus der organischen Materie abgeschiedene Kohle reduziert. Der auf solche Weise von Brand im Jahre 1669 erhaltene freie Phosphor erregte wegen seiner überraschenden Eigenschaften die Aufmerksamkeit der gesamten gebildeten Welt. Brand hielt sein Verfahren zuerst geheim. Auf Grund einiger Andeutungen, welche Kunkel erfuhr, gelang diesem jedoch gleichfalls die Darstellung. Einige Jahre nach der Entdeckung des Phosphors zeigte er das neue Element dem Großen Kurfürsten. Dieser ernannte Kunkel zum Leiter seines alchemistischen Laboratoriums, welches er gleich manchen anderen Fürsten des 17. Jahrhunderts unterhielt.

Becher (1635—1682) hielt sich wie Kunkel als Alchemist an deutschen Höfen auf. Er und der etwas später lebende Stahl sind die Begründer der Phlogistontheorie, welche trotz ihrer irrigen Voraussetzungen die Chemie des 18. Jahrhunderts beherrscht hat.

Daß die Aufstellung eines den Tatsachen entsprechenden Systems der Chemie soviel später als die Begründung der Mechanik erfolgte, ist in erster Linie darauf zurückzuleiten, daß die Chemie eine vorwiegend induktiv verfahrende Wissenschaft ist, die sich der deduktiven Behandlung erst in unseren Tagen zu erschließen beginnt. Was den Fortschritt der physikalischen Zweige, insbesondere der Optik und der Mechanik so ungemein gefördert hat, war die innige Verbindung und gegenseitige Unterstützung der induktiven und der deduktiven Forschungsweise von den ersten Schritten auf diesen Gebieten an. Die Grundlagen einer chemischen Theorie zu schaffen, war bei weitem mühevoller, weil die chemischen Vorgänge nicht unmittelbar in die Sinne treten, sondern erst durch eine lange, mühevolle, logische Verknüpfung der Ergebnisse experimenteller Forschung erschlossen werden müssen. Die Chemie hatte indes seit Boyle, Becher und Stahl ihre wahre Aufgabe darin erkannt, die stofflichen Veränderungen auf dem Wege des Experiments zu erforschen. Insbesondere galt es, die so mannigfachen Wandlungen der Materie, die mit der Verbrennung Hand in Hand gehen, auf ein einziges Prinzip zurückzuführen. Als solches glaubten Becher und Stahl (1660–1734) eine in den brennbaren Körpern

angenommene Materie, welche Stahl als Phlogiston bezeichnete, erkannt zu haben. Der Verbrennungsprozeß sollte in dem Entweichen dieses Phlogistons bestehen. Der brennbare Körper mußte folglich eine Verbindung von Phlogiston mit dem gleichfalls schon in der Substanz enthaltenen Verbrennungsprodukt sein. Je weniger Verbrennungsprodukt, desto reicher war der ursprüngliche Körper an Phlogiston. Kohle, die nur eine geringe Menge Asche hinterläßt, war demnach nahezu reines Phlogiston. Wurde Zink verbrannt, so zerfiel es in seine Bestandteile Zinkweiß und Phlogiston. Die Wiedergewinnung des Zinks aus dem Zinkoxyd durch Erhitzen mit Kohle bestand in einer Zuführung des in der letzteren enthaltenen Phlogistons. So gelang es in leichtfaßlicher Weise, nicht nur die Vorgänge der Oxydation und der Reduktion, sondern auch die Atmung und die Verwesung auf ein Grundprinzip zurückzuführen. Die mit der Phlogistontheorie unvereinbare, für manche Fälle schon bekannte Tatsache, daß das Gewicht des Verbrennungsproduktes dasjenige der unverbrannten Substanz übertrifft, wurde nicht weiter beachtet. Obgleich von einem unrichtigen Grundsatz geleitet, haben die Phlogistiker des 18. Jahrhunderts, unter denen sich Experimentatoren ersten Ranges wie Scheele, Priestley und Marggraf befanden, die Chemie in hohem Grade gefördert. Durch ihr Bemühen, in welchem sie Baustein auf Baustein zusammentrugen, zwar ohne sie in richtiger Weise ordnen zu können, haben sie selbst den Sturz der Phlogistontheorie herbeigeführt und dem Manne, dessen Scharfsinn wir die logische Verknüpfung der zahllosen chemischen Einzelbeobachtungen verdanken, dem Franzosen Lavoisier, erst sein Werk ermöglicht.

Insbesondere wollen wir hier Marggrafs gedenken, der um die Mitte des 18. Jahrhunderts in Berlin als eine Zierde der Preußischen Akademie der Wissenschaften wirkte. Diese Gesellschaft besaß um jene Zeit eine Reihe vortrefflicher Chemiker in ihrer Mitte, so daß ihr Präsident Maupertuis Friedrich dem Großen mit Recht sagen konnte: „Unsere Chemiker stechen alle Chemiker Europas aus“ [1]).

[1]) Außer Marggraf und seinem Schüler Achard sind von den Berliner Chemikern noch Neumann und Pott zu nennen. Caspar Neumann (1683–1737) war Professor an der medizinischen Bildungsanstalt zu Berlin. Sein Nachfolger war Johann Heinrich Pott (1692–1777). Ersterer hat sich um die Analyse, letzterer um die Mineralchemie Verdienste erworben.

Andreas Sigismund Marggraf wurde 1709 in Berlin geboren. Durch seinen Vater, der eine Apotheke besaß, wurde er der Pharmazie zugeführt. Von den Hilfswissenschaften dieses Gebietes fesselte ihn die Chemie in solchem Grade, daß er sich ihr ausschließlich widmete. Nach Beendigung seiner Studien, denen er auf der Universität und auf der Bergschule zu Freiberg oblag, kehrte er nach Berlin zurück, um sich ausschließlich mit chemischen und mineralogischen Forschungen zu befassen. Er wurde Mitglied der Akademie und später Direktor der naturwissenschaftlichen Abteilung dieses Instituts, in dessen Abhandlungen während der Jahre 1747—1779 die Arbeiten Marggrafs veröffentlicht wurden. Diese Arbeiten haben zahlreiche Punkte der anorganischen und der organischen Chemie, sowie der Mineralogie aufgehellt. Die von Marggraf gewonnenen Ergebnisse wurden dadurch erzielt, daß er die Analyse besonders auf nassem Wege ausübte und dies Verfahren durch manche Hilfsmittel ausbaute. Auch wird ihm nachgerühmt, daß er der erste war, der sich bei chemischen Untersuchungen des Mikroskops bediente.

Auf die Ergebnisse seiner analytischen Forschungen werden wir zum Teil noch bei der Besprechung der mineralogischen Fortschritte zurückkommen. Hier sei nur hervorgehoben, daß er die Bittererde[1]) und die Tonerde[2]) als besondere von der Kalkerde durchaus verschiedene Substanzen erkannte. Marggraf zeigte ferner, daß der Gips eine Verbindung von Kalkerde, Schwefelsäure und Wasser ist; er erkannte die Zusammensetzung von Alaun und von Urinsalz, in welchem er Phosphorsäure und flüchtiges Alkali entdeckte. Zahlreiche Untersuchungen über den Phosphor, seine Darstellung und seine Verbindungen rühren von Marggraf und seinen Schülern her. Vor allem wurde die Phosphorsäure genauer untersucht. Marggraf stellte sie entweder durch Kochen von Phosphor mit Salpetersäure oder durch Verbrennen des Phosphors her. Dabei entging ihm nicht, daß die entstandene Phosphorsäure mehr wog als der in die Verbindung eingehende Phosphor, eine Tatsache, die eigentlich Marggrafs Anschauungen hätte erschüttern müssen, da sie der phlogistischen Theorie, nach welcher die Verbrennung in dem Entweichen einer Materie bestehen sollte, durchaus widersprach. Es zeigte sich indessen an ihm die so häufige Erscheinung, daß gerade der Fachmann oft am wenigsten

1) 1760.
2) 1754.

geneigt ist, liebgewordene Theorien, auf welchen er das ganze System seines Wissens aufgebaut, einer umwälzenden, neuen Anschauung zu opfern.

Marggraf hat noch die Aufstellung der antiphlogistischen Theorie durch Lavoisier erlebt und ist trotzdem Phlogistiker geblieben. Dieses fast an Verblendung grenzende, hartnäckige Festhalten an einer irrigen Theorie schmälert Marggrafs Verdienste um die Wissenschaft, die bis zu einem gewissen Grade unabhängig von dem Wechsel der Theorien aus festgefügten Tatsachen sich aufbaut, indessen nicht. So hat Marggraf nicht nur das Mikroskop, sondern auch die Wage in die Chemie eingeführt, ein Verdienst, das man gewöhnlich ausschließlich Lavoisier zuschreibt. Er fällte z. B. Silberlösung mit Kochsalz und verglich das Gewicht des gelösten Silbers mit demjenigen des Silberchloridniederschlages. In solchen und in ähnlichen Versuchen, welche in Schweden Bergmann[1]) anstellte, begegnen uns die ersten Anfänge der quantitativen Analyse, d. h. des Verfahrens, die Stoffe nicht isoliert zu wägen, sondern sie in Form von unlöslichen Verbindungen bekannter Zusammensetzung abzuscheiden und deren Gewicht zu ermitteln.

Groß sind auch die Verdienste, die sich Marggraf um die technische Chemie erworben hat. Er lehrte neue Metallegierungen kennen, verbesserte die hüttenmännische Gewinnung des Zinks, das seitdem in größerer Menge der Industrie zugänglich wurde, vor allem aber lehrte er, den Zucker aus einheimischen Pflanzen gewinnen. Über diese Entdeckung, deren Tragweite Marggraf wohl geahnt hat, berichtet er in den Abhandlungen der Akademie vom Jahre 1747[2]) unter der Überschrift: Chemische Versuche angestellt in der Absicht, wirklichen Zucker aus verschiedenen, in unseren Gegenden wachsenden Pflanzen herzustellen. Unter den Pflanzen, aus deren Wurzeln er reinen Zucker dargestellt habe, hebt er besonders die Runkelrübe hervor. „Man erkennt“, schließt er seine Abhandlung, „welche praktischen Anwendungen man von diesen Versuchen machen kann. Man wird sich anstatt des teuren Rohrzuckers oder eines schlechten Sirups in Zukunft des Zuckers unserer Pflanzen bedienen können.“ Marggraf war sich darüber vollkommen klar, daß es sich hier nicht um einen

---

[1]) Siehe an späterer Stelle.

[2]) Siehe a. a. O. S. 79—90.

dem Rohrzucker nur ähnlichen Stoff, sondern um das Vorkommen des Rohrzuckers selbst in dem Saft der Runkelrübe handele. Technisch ausgestaltet wurde die Gewinnung des Zuckers aus Rüben indessen erst durch Marggrafs Schüler Achard. Eigentlich lebensfähig wurde das Verfahren aber erst, nachdem Napoleon durch seine Zollschranken die Einfuhr von Kolonialzucker nach dem europäischen Kontinent unterbunden hatte und die chemische Industrie sich dadurch gezwungen sah, an die Beschaffung eines Ersatzmittels zu denken. Der eigentliche Aufschwung der Rübenzuckerfabrikation datiert erst etwa seit dem Jahre 1825.

14. Das Emporblühen der Anatomie und der Physiologie.

Schon im 16. Jahrhundert hatten sich die Zoologen nicht mehr auf die bloße Beschreibung der äußeren Form und eine im wesentlichen hierauf begründete Systematik beschränkt, sondern begonnen, auch die innere Gestaltung des tierischen Organismus, sowie seine Entwicklung zu erforschen. In weit höherem Maße gilt dies von dem 17. Jahrhundert, als sich durch das Mikroskop nicht nur dem Anatomen die feineren Formverhältnisse des Tierkörpers erschlossen, sondern die ohne eine Verschärfung der Sinnesorgane gar nicht mögliche Anatomie der Pflanzen überhaupt erst begründet wurde. Der Richtung jener Zeit entsprechend, welche auf ein Zurückführen der in der anorganischen Natur obwaltenden Vorgänge auf physikalische Grundsätze abzielte, regte sich auch das Bestreben, die Funktionen des lebenden Organismus aus der Mechanik zu erklären. Kurz, es sind die Anfänge desjenigen, mehr durch seine Methode als durch den Gegenstand charakterisierten Wissenszweiges, den wir als Biologie im weiteren Sinne bezeichnen, welche wir in diesem Zeitalter antreffen.

Die größte Errungenschaft auf diesem Gebiete ist die von dem Engländer Harvey (1578—1658) begründete Lehre von dem Kreislauf des Blutes. Die seit Vesal emporblühende Anatomie hatte eine Reihe von Tatsachen zutage gefördert, die sich mit den herrschenden Ansichten Galens[1]) nicht vereinigen ließen. So waren die für Galens Lehre so wichtigen Annahmen, daß die Herzscheidewand porös sei und die Arterien Luft führten, durch den Augenschein widerlegt worden. Auch hatte man die Klappen des Herzens gründlich untersucht und die Klappen in den Venen

[1]) Siehe Bd. I dieses Werkes. S. 179.

gefunden, von denen Galen noch keine Kenntnis besaß[1]). All diese Entdeckungen hatten indessen nur bei einigen aufgeklärten Forschern leise Zweifel an Galens Lehre hervorgerufen. Richtige Anschauungen konnten nämlich kaum aufkommen, so lange man an dem mystischen Pneuma des griechischen Arztes festhielt.

Durch Harveys über 20 Jahre sich erstreckende Bemühungen wurde nun mit einem Schlage über das bisher so dunkle, von Widersprüchen beherrschte Gebiet volles Licht verbreitet. Dies war nur dadurch möglich, daß Harvey, der nicht umsonst bei den Italienern in die Schule gegangen war, zwei Grundsätze, welche durch Galilei und seine Jünger als die Leitsterne für alles naturwissenschaftliche Forschen zur Geltung gekommen waren, in sich verkörperte. Es waren dies die Befreiung von hergebrachten, durch die Autorität des Altertums gestützten Meinungen und die Befolgung des experimentellen Verfahrens. Darin, daß Harvey diese Grundsätze der neueren Naturwissenschaft zur Geltung brachte und sie in die Physiologie einführte, liegt eine nicht geringere Bedeutung als in den Ergebnissen seiner Forschung.

Zwar dürfen wir nicht erwarten, daß die Befreiung von den Anschauungen, die bis dahin gegolten, und das Einlenken in neue Bahnen Harvey mit einem Male und völlig gelungen wäre. Auch die größten Neuerer bleiben in mancher Hinsicht, wie wir es z. B. auch bei Galilei, Gilbert und Kepler gesehen haben, Kinder ihrer Zeit. So war das Ansehen, welches die Autorität eines Galen genoß, selbst bei Harvey noch so groß, daß er fast ein Jahrzehnt nach seiner Entdeckung verstreichen ließ, ehe er letztere in seinem „anatomischen Übungsstück über die Bewegung des Herzens und des Blutes“ bekannt zu geben wagte[2]).

William Harvey wurde 1578 geboren. Er studierte in Cambridge Medizin und ging 1598 nach Padua, wo er Schüler des bedeutenden Anatomen Fabricio ab Aquapendente wurde. Nach seiner Rückkehr wirkte Harvey zunächst als Arzt und später als Professor der Anatomie in London. Seine Lehre vom Kreislauf des Blutes verkündete er schon 1619. Veröffentlicht wurde sie indessen erst ein Jahrzehnt später (1628), nachdem

1) Fabricius hatte schon über den Zweck der Venenklappen nachgedacht und war zu der Ansicht gelangt, diese Organe bezweckten, Unregelmäßigkeiten auszugleichen, welche die Blutbewegung durch die Bewegung der Gliedmaßen erleiden könnte.

2) Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus. Francof. 1628.

Harvey durch Vivisektionen ein umfangreiches Beweismaterial gesammelt hatte. Bald darauf ernannte ihn Karl I. zu seinem Leibarzt. Als solcher war er gezwungen, während des Bürgerkrieges den König auf seinen Zügen zu begleiten[1]). Harvey starb im Jahre 1658.

Als neu enthält die Lehre Harveys folgende Punkte: Das Herz verhält sich wie ein Muskel. Es wird beim Zusammenziehen härter und blässer und stößt das Blut, das passiv aufgenommen wird, von sich. Das bei der Systole des Herzens fortgetriebene Blut gelangt in die Arterien, die sich also in der Diastole befinden, wenn sich das Herz zusammenzieht. Aus den Verzweigungen der Arterien tritt das Blut in die Venen über und strömt in diesen zum Herzen zurück, so daß das letztere in einer bestimmten Zeit von der ganzen Masse des Blutes durchflossen wird.

Um die Mitte des 17. Jahrhunderts wurde auch der alte Irrtum, daß das Blut sich in der Leber bilde, beseitigt. Dies geschah durch die Entdeckung des in das Venensystem einmündenden Ductus thoracicus, dessen Zusammenhang mit den Lymphgefäßen des Darmes man fast gleichzeitig entdeckte. Erst dadurch wurde der „Kreis der die Lehre Harveys ergänzenden Entdeckungen geschlossen“[2]).

Da die Klappen auch in den horizontal verlaufenden Venen der Vierfüßler vorhanden sind, so können sie nicht den von Fabricius behaupteten Zweck haben, den Sturz des Blutes zu mäßigen, sondern es liegt ihnen ob, den Rückfluß aus den Stämmen, welche das venöse Blut zum Herzen führen, in die Verzweigungen, in denen das Blut sich sammelt, zu verhindern. Während das arterielle System von der linken Herzkammer gespeist wird, befördert die Kontraktion der rechten Kammer das venöse Blut in einem zweiten Kreislauf zunächst in die Lungen, wo es durch die atmosphärische Luft eine Farbenveränderung erleidet, über deren Natur Harvey, weil ihm die Einsicht in die chemische Rolle der Luft noch fehlte, nicht ins klare kommen konnte. Der zweite Kreislauf findet dadurch seinen Abschluß, daß das Blut von der Lunge zum Herzen zurückströmt. All diese Feststellungen erfolgten durch, auf gründliche anatomische Untersuchung gestützte, teilweise vivisektorische Versuche an höheren und niederen Tieren.

---

[1]) West, Harvey and his times. London 1874.

[2]) Häser, Geschichte der Medizin. Bd. II. S. 277.

Trotzdem fand Harveys Arbeit, wie alles, was den eingewurzelten Meinungen widerspricht, zunächst lebhafte Anfeindung. Einer der ersten, welcher der neuen Lehre Geltung verschaffte, war Descartes. Dieser wurde mit dem Inhalt der Harveyschen Schrift zuerst durch den vielgeschäftigen Mersenne bekannt gemacht und gab selbst in seinem Discours de la méthode auf Grund der Harveyschen Entdeckungen eine ausführliche Darstellung der Lehre vom Blutkreislauf[1]).

Nachdem diese Lehre Anerkennung gefunden, galt es, eine Reihe von Einzelfragen zu entscheiden. Der Verlauf der gröberen Äste des Gefäßsystems wurde durch das bald aufkommende Verfahren der Injektion eingehender, als es durch bloßes Zerschneiden der Leichen möglich war, festgestellt. Zur Erforschung der feinsten Verzweigungen wandten zuerst Malpighi (1661) und später Leeuwenhoek das Mikroskop an. Die anfangs bestehende Meinung, daß die feineren Zweige der Arterien das Blut in die Gewebe ergössen und die Venen es mit ihren äußersten Enden wieder aufsögen, wurde durch den Nachweis eines feinen, die Arterien mit den Venen verbindenden Netzes von Kapillargefäßen wesentlich modifiziert. Gleichzeitig entdeckten beide Forscher die in dem Blute schwimmenden, roten Körperchen.

Des weiteren erhob sich die Frage nach der Entstehung des Blutes. Galen hatte angenommen, daß das Blut in der Leber bereitet werde und von dort in die obere Hohlvene gelange, die mit der Leber durch eine Abzweigung in Verbindung steht. Das Material für die Blutbereitung mußte aber doch in letzter Linie aus dem Nahrungssaft stammen. Die anatomischen Elemente, welche den Darm mit dem Blutgefäßsystem in Verbindung setzen, vermochte man indessen erst um die Mitte des 17. Jahrhunderts zu erkennen. Es erfolgte[2]) der Nachweis, daß die schon vor Harvey in der Wand des Darmes entdeckten Chylusgefäße sämtlich in einen gemeinsamen Gang, den Ductus thoracicus, eintreten und ihren Inhalt durch diesen in die linke Schlüsselbeinvene ergießen. An die Entdeckung und die richtige Deutung der Chylusgefäße reihte sich diejenige des Lymphgefäßsystems[3]). Erst jetzt ließ sich auf die Frage, welche Rolle die einzelnen Organe und Organ-

---

1) Siehe auch K. Lasswitz, Geschichte der Atomistik. II. S. 84.

2) Durch Jean Pecquet.

3) Sie erfolgte durch den schwedischen Arzt Olaf Rudbeck im Jahre 1651.

systeme bei der Blutbereitung spielen, eine zunächst wohl befriedigende, die chemisch-physiologische Seite indes noch gar nicht berührende Antwort geben.

Ähnliche Schwierigkeiten erhoben sich, als man nach einer Erklärung für die sich stets und rhythmisch wiederholende Herzbewegung suchte. Nach Galen wurden die Herzkammern passiv ausgedehnt, indem das Blut in Berührung mit der Wärme, deren Sitz Galen und Aristoteles ins Herz verlegten, sich ausdehnen und gleichsam aufbrausen sollte. Die neue Lehre erblickte dagegen die Ursache der Blutbewegung in der Zusammenziehung des muskulösen Herzens. Was veranlaßte aber diese Zusammenziehung? Descartes glaubte, das einströmende Blut wirke als Reiz auf den Herzmuskel. Diese Ansicht wurde aber durch Experimente widerlegt. Entfernte man z. B. das Herz aus der Brust eines lebenden Tieres, so dauerten die Kontraktionen noch lange fort. Sie ließen sich sogar, nachdem sie gänzlich aufgehört hatten durch leichte Reize wieder anregen. Um die Frage nach dem Impuls des Herzens beantworten zu können, mußten indessen spätere Zeitalter erst eingehende Untersuchungen über die Herzinnervation und deren Zusammenhang mit dem übrigen Nervensystem machen.

Nachdem Harvey nachgewiesen, daß das Blut in einem zweiten, kleineren Kreislauf durch die Lungen geführt wird, wandte man sich der Erforschung auch dieser Organe mit erhöhtem Eifer zu. Wieder war es Malpighi, dessen Untersuchungen auch hier die Grundlage geschaffen haben. Er wies (1661) nach, daß die Lungen ein doppeltes Röhrenwerk darstellen, indem die Verästelungen der Luftröhren in feinen Bläschen endigen, die von den Blutgefäßen umsponnen werden.

Aus den erwähnten Untersuchungen Malpighis über den Bau der Lunge und über die Kapillargefäße geht zur Genüge hervor, daß für die Physiologie das Mikroskop etwa dieselbe Bedeutung erlangte, die für die Astronomie das Fernrohr gewonnen hatte. Dem Mikroskop hatte man, obgleich es früher erfunden wurde als das Fernrohr, zunächst ein weit geringeres Interesse entgegengebracht. Selbst Leeuwenhoek, der in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts die Erforschung kleinster Lebewesen außerordentlich förderte, verwandte dazu einfache, bikonvexe Linsen aus besonders feinem Glase. Er erzielte mit ihnen eine 160fache lineare Vergrößerung. Solche Linsen, deren sich auch Huygens bediente, waren nur stecknadelknopfgroß. Ihr Gebrauch erforderte

keine geringe Geschicklichkeit und ein hervorragendes Sehvermögen. Letzteres, sowie die Sorgfalt im Beobachten wurden durch die Verwendung des Mikroskops in solchem Maße gesteigert, daß auch das unbewaffnete Auge Dinge wahrnehmen lernte, welche früher der Beobachtung unzugänglich waren.

Erst verhältnismäßig spät erhielt das zusammengesetzte Mikroskop denjenigen Grad der Vollendung, der es zu wissenschaftlichen Untersuchungen geeignet machte. Man suchte eine stärkere Vergrößerung und eine geringere Farbenzerstreuung dadurch herbei-

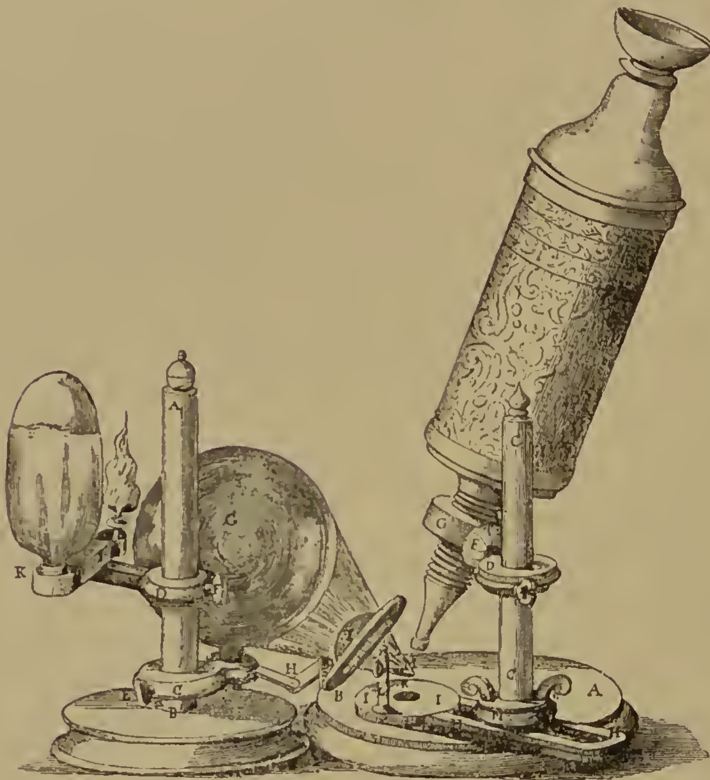


Abb. 96. Hookes zusammengesetztes Mikroskop (Hookes Micrographia, Schem. I, Fig. 5/6).

zuführen, daß man das Objektiv und das Okular, die bisher nur aus je einer Linse bestanden, aus zwei Linsen zusammensetzte. Ferner ersann man Beleuchtungsvorrichtungen, wofür uns die Abbildung Hookes ein Beispiel gibt. (Siehe Abb. 96.)

Um den Zeitgenossen die Brauchbarkeit seines Instrumentes zu beweisen, veröffentlichte Hooke im Jahre 1667 seine „Micrographie oder Beschreibung kleiner Gegenstände“. Eine Beteiligung an der Lösung biologischer Probleme lag weniger in der Absicht dieses Forschers; trotzdem machte er eine Entdeckung von der

weitgehendsten Bedeutung, indem er die Aufmerksamkeit auf den zelligen Bau der Pflanzen richtete. Hooke bildet ferner den Stachel der Biene ab, dessen Widerhaken deutlich zu erkennen sind. Auch die Häkchen, welche die feinsten Äste der Federn verbinden, sind in der Mikrographie dargestellt; wie sich denn überhaupt der Verfasser dieses Werkes mit einer fast kindlich zu nennenden Wißbegierde mit allem beschäftigt, was sich ihm zufällig darbietet.

Auch die Mitglieder der Accademia del Cimento befaßten sich nicht ausschließlich mit rein physikalischen Problemen. Sie zeigten sich vielmehr bestrebt, in Galileis Sinne die Methode des großen Meisters auf alle Gebiete der Naturwissenschaften auszudehnen. In dieser Hinsicht ist vor allem Borelli zu nennen.

Giovanni Alfonso Borelli wurde 1608 in Neapel geboren. Er studierte Mathematik und Philosophie und war an verschiedenen Orten Italiens als Lehrer und vielseitiger Forscher tätig. Malpighi zählte zu seinen Schülern. In Florenz war Borelli als eines der eifrigsten Mitglieder der Accademia del Cimento an physikalischen Untersuchungen beteiligt [1]. Nach der Auflösung der Florentiner Akademie hielt Borelli sich in Rom auf, wo er mit der Königin Christine von Schweden bekannt wurde. Borellis bedeutendste Arbeit, handelt von der Bewegung der Tiere.

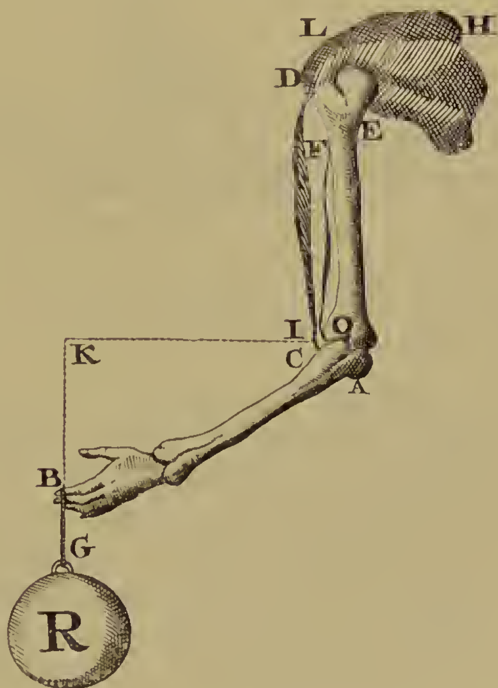


Abb. 97. Borelli erläutert die Wirkung des zweiköpfigen Armmuskels [3].

Borelli hat durch diese Schrift [2] der Physiologie die wertvollsten Dienste geleistet, indem er die Grundsätze der Mechanik auf die

[1]) Borelli erfand den Heliostaten, indem er einem Spiegel durch ein Uhrwerk eine solche Bewegung gab, daß die Sonnenstrahlen immer nach derselben Richtung zurückgeworfen werden.

[2]) Borelius, De motu animalium. Rom 1680, Leyden 1685.

[3]) Borelius, De motu animalium. Leyden 1685 Tab III. Fig. 2.

Physiologie anwenden lehrte. Borelli zeigte z. B., daß beim Zusammenwirken der Muskeln und der Knochen letztere als Wurfhebel dienen, d. h. als einarmige Hebel, bei welchen die in den Muskeln tätige Kraft an dem kleineren Hebelarm angreift. In der durch Abb. 97 erläuterten Stellung des Armes wird sich z. B. der Muskelzug, welcher der Last R das Gleichgewicht hält, zu dieser Last entsprechend dem Hebelgesetz wie die Strecke OK zur Strecke OJ verhalten. Der von dem zweiköpfigen Armmuskel CF, dem Biceps, ausgeübte Zug muß also die in B wirkende Last bedeutend übertreffen. Borelli berechnet, daß sämtliche Muskeln des Armes, wenn er horizontal gehalten und an den Fingern mit 10 Pfund belastet wird, einen Zug ausüben, welcher viele Male größer ist.

Auch die Mechanik des Gehens, Laufens, Springens, Schwimmens und Fliegens wurde durch Borelli einer solch vortrefflichen physikalischen Untersuchung unterworfen, daß erst die neueste Zeit durch die Gebrüder Weber Besseres zu schaffen vermochte. Abb. 98 zeigt uns das Verfahren, das Borelli zur Ermittlung des Schwerpunktes einschlug[1]. Welche Bedeutung gerade die Lage dieses Punktes und die Art, wie er unterstützt wird, bei dem Zustandekommen der einzelnen Bewegungen besitzt, wurde von Borelli besonders eingehend untersucht. Wie groß der Fortschritt in der richtigen Auffassung der Mechanik des Körpers war, läßt sich ermessen, wenn man berücksichtigt, daß das Fleisch bis zum Beginne des 17. Jahrhunderts entweder als bloßes Füllmaterial oder als Organ des Gefühls und des Tastens betrachtet wurde. Erst jetzt begann man auf die Verkürzung der Muskeln beim Zustandekommen der Bewegungen zu achten. Borelli suchte diese Verkürzung aus einer Art von Elastizität des Muskels begreiflich zu machen. Vor allem aber hob er hervor, daß dieser Vorgang wieder von der Tätigkeit der Nerven abhängig sei.

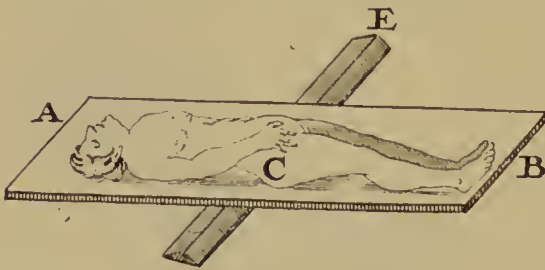


Abb. 98. Borelli ermittelt den Schwerpunkt eines Menschen.

Auch die Atembewegung untersucht Borelli. Er erkennt, welche Rolle die Zwischenrippenmuskeln bei der das Einatmen bedingenden Erweiterung des Brustkastens bilden, daß das Aus-

[1]) De motu animalium. Tab. X. Fig 12.

atmen mehr passiv durch ein Erschlaffen jener Muskeln erfolgt und daß vor allem die Lunge selbst bei diesem ganzen Vorgang sich durchaus passiv verhält, indem sie der Bewegung der Muskulatur nur folgt. Auf die Bedeutung, welche das Zwerchfell neben der Rippenmuskulatur für die Atembewegung besitzt, wurde erst von einem Schüler Borellis hingewiesen[1]).

Für die Anatomie und die Physiologie der höheren Tiere waren Malpighis Forschungen über die Drüsengewebe von besonderer Wichtigkeit. Während z. B. manche seiner Zeitgenossen die Galle noch in der Gallenblase entstehen ließen, verlegte Malpighi mit aller Bestimmtheit die Absonderung dieses Sekretes in die Leber. Seine Untersuchung der äußeren Haut als wichtigstes Tastorgan lehrten die unter der Oberhaut befindliche Schleimschicht kennen, die noch heute Malpighis Namen führt.

Der anatomische Bau und die Funktion der Drüsen wurde von Malpighi zum ersten Male richtig gedeutet. Er erkannte, daß diese Organe der Hauptsache nach aus kleinen Bläschen (Zellen) bestehen, welche in die Ausführungsgänge eine Flüssigkeit von spezifischer Art und Wirkung ergießen.

Es gibt kaum einen Teil der Anatomie oder der Physiologie, den Malpighi nicht durch grundlegende Lehren bereichert hätte. Wie über den Bau der Lunge, so verdanken wir ihm auch über den Bau der Nieren[2]) und der Körperhaut die wichtigsten Entdeckungen. Malpighi verfolgte die Harnkanälchen und zeigte, wie sie in der Niere zu pyramidenförmigen Bündeln zusammentreten. Er untersuchte ferner den Verlauf der Gefäße innerhalb der Niere, entdeckte die nach ihm benannten Nierenkörperchen und zeigte, wie sie mit den Harnkanälchen zusammenhängen. An diese anatomischen Befunde schlossen sich Versuche, durch welche Malpighi feststellte, daß der Urin aus dem Nierenbecken durch die Harnleiter in die Harnblase abgeleitet wird.

Malpighis Forschungen über die Körperhaut gipfelten in der Entdeckung, daß der Tastsinn in gewissen unter der Epidermis liegenden Papillen lokalisiert sei.

---

[1]) Lorenzo Bellini. Die insbesondere durch Borelli ins Leben gerufene Schule wird wohl als die iatrophysische bezeichnet.

[2]) Malpighi, Opera omnia. London 1697. Bd. II. S. 87: De renibus.

15. Die ersten Ergebnisse der mikroskopischen Erforschung der niederen Tiere.

Eine ganz wesentliche Bereicherung erfuhr die Zoologie im 17. Jahrhundert durch die Erschließung der Welt des Kleinen mit Hilfe des einfachen und des zusammengesetzten Mikroskops.

Man wird jetzt mit Lebewesen näher bekannt, denen man bisher ihrer geringen Körpergröße wegen kaum oder garnicht Beachtung geschenkt hat. Mit Erstaunen und Bewunderung erkennt man, daß ihr Inneres, welches dem unbewaffneten Auge als eine gleichartige Masse erscheint, einen Bau aufweist, der in seinem Plane demjenigen der höheren Tiere durchaus nicht nachsteht. Der Ausspruch des Plinius „Natura in minimis maxima" wird jetzt erst als wahr erkannt. Geleitet von dem Zweckmäßigkeitsbegriff sucht man nach einem Verständnis für das Geschaute. In der Überzeugung, daß der Schöpfer alles planvoll eingerichtet habe und in seinen Werken zu erkennen sei, sehen wir den Holländer Swammerdam seine mühevollen Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Insekten vollbringen.

Jan Swammerdam wurde am 12. Februar 1637 in Amsterdam geboren. Sein Vater war Apotheker und besaß ein hervorragendes Interesse für Naturalien. Er hatte in einem Zeitraum von 50 Jahren eine reiche Sammlung zusammengebracht. Der heranwachsende Sohn wurde mit ihrer Instandhaltung betraut und gewann infolgedessen einen unbezwinglichen Hang zur Naturforschung. Boerhave erzählt, der Knabe sei allen Tierchen seiner Umgebung nachgegangen und habe Luft und Wasser, Felder, Wiesen, Sandberge, Kräuter usw. nach ihnen durchsucht, um Eier, Nahrung, Wohnung und Krankheiten kennen zu lernen. Als er später (von 1661 ab) in Leyden sich dem Studium der Medizin hingab, schloß Swammerdam sich besonders eng an seinen Lehrer der Anatomie[1])

---

1) Jan van Hoorne. Er war der erste, welcher die Bedeutung der Ovarien für die Entstehung des Embryos erkannte. Siehe Hirsch, Geschichte der medizinischen Wissenschaften, S. 120.

an. Nach Beendigung seiner Studien ging er jedoch nicht dem ärztlichen Berufe nach, sondern wandte die erworbenen anatomischen Kenntnisse auf die Zergliederung der kleinsten Lebewesen an, deren äußere Form und Lebensgewohnheiten ihn während seiner Knabenzeit schon in solch hohem Grade gefesselt hatten.

In Leyden wurde Swammerdam auch mit dem hervorragenden dänischen Forscher Nicolaus Steno bekannt, der später in Toskana weilte und dort die Grundlagen für die Geologie schuf. Der Großherzog von Toskana, welcher 1668 in Holland weilte, wurde damals auch mit Swammerdam bekannt und besichtigte dessen Sammlungen. „Nichts verwunderte den Großherzog so sehr“, erzählt Boerhave in seiner Schilderung des Lebens Swammerdams, „als daß letzterer zeigte, wie ein Falter zusammengerollt in einer Puppe steckt, aus welcher Swammerdam ihn mit unglaublicher Geschicklichkeit und mit unbegreiflich feinen Werkzeugen herausnahm, um dem Fürsten die verwickelten Teile des Insekts auf das deutlichste auseinanderzusetzen“. Der Großherzog bot Swammerdam für seine Sammlung 12000 Gulden und knüpfte an dieses Anerbieten die Bedingung, daß der Forscher an den toskanischen Hof kommen und dort die Sammlung verwalten und bereichern sollte. Leider schlug Swammerdam dieses Anerbieten, sowie jede andere Anstellung aus. Er starb, kränklich und verarmt, im Jahre 1680.

Seinen Fleiß im Nachspüren nennt Boerhave[1]) mehr als menschlich. Sobald ihm die Sonne hinreichendes Licht spendete, begann er unter freiem Himmel seine feinen Präparate zu betrachten. Während der Abend- und Nachtstunden wurde beschrieben und gezeichnet. Bei der Untersuchung benutzte er Gläser von sehr verschiedener Schärfe. Der betreffende Gegenstand wurde zuerst bei schwacher Vergrößerung untersucht, dann betrachtete er ihn mit immer kleineren Linsen. Die Scheren, Messer und Lanzetten, deren sich Swammerdam bediente, waren so klein, daß er sie unter dem Vergrößerungsglase schleifen mußte. Um den Verlauf der zarten Gefäße zu verfolgen, blies er sie mit Hilfe feiner gläserner Röhren auf, oder er füllte sie mit gefärbten Flüssigkeiten. Auf solche Weise pflegte er die Gedärme einer Biene so deutlich zu zeigen, wie man es bisher nur an größeren Tieren zu tun vermochte. Swammerdams zootomische Arbeiten er-

[1]) Boerhave (1668—1738) war Professor der Chemie und der Botanik in Leyden.

streckten sich auch auf die Weichtiere (z. B. die Weinbergsschnecke und die Sepie) sowie die Amphibien. Der Bau und die Entwicklung des Frosches wurden von ihm mit einer so weitgehenden Genauigkeit untersucht, daß Swammerdams Befunde über den Bau der Urogenitalorgane erst durch Arbeiten der neuesten Zeit ihre Bestätigung gefunden haben [1]).

Unter den zahlreichen Kunstgriffen, welche Swammerdam in die Anatomie einführte, seien noch folgende erwähnt. Er benutzte saure Flüssigkeiten, welche den zarten Teilen bei längerer Einwirkung größere Festigkeit und Härte verliehen. Um das, manche Organsysteme einhüllende, den Einblick in die Form und den Zusammenhang der Teile hindernde Fett zu entfernen, wandte er als Lösungsmittel Terpentinöl an. Mitunter verwandte er ganze Tage darauf, das Fett aus einer Raupe zu entfernen. Zum Injizieren bediente er sich nicht nur gefärbter Flüssigkeiten, sondern er benutzte zu diesem Zwecke auch geschmolzenes Wachs. Auch den Kunstgriff, kleinere Tiere unter Wasser zu zerlegen, so daß die voneinander gelösten Teile ins Flottieren kamen und sich so leichter trennen und verfolgen ließen, hat Swammerdam in die anatomische Technik eingeführt.

Wenden wir uns Swamerdams Untersuchungen der niederen Tierwelt im einzelnen zu, so ist vor allem seine Abhandlung über den Bau und die Entwicklung der Bienen zu nennen. Nach einem Ausspruch Boerhaves, der Swammerdams Schriften unter dem Titel „Bibel der Natur“ herausgab, ist das Buch über die Bienen ein Werk, das bis auf jene Zeiten nicht seinesgleichen gefunden hatte. Wie Boerhave ferner mitteilt, ist es im Anfang der 70er Jahre des 17. Jahrhunderts entstanden, und habe sich Swammerdam, dessen Augen durch die unermüdliche Anstrengung schließlich „ganz stumpf“ geworden seien, daran „zu schanden“ gearbeitet.

Um von der Forschungsweise Swammerdams und den Ergebnissen seiner Untersuchungen einen Begriff zu geben, sei einiges aus dieser für die Entwicklung der Zootomie so wichtigen Abhandlung über die Biene mitgeteilt.

Zunächst werden die drei Formen, die Männchen, Weibchen und Arbeitsbienen, genau beschrieben und ihre Lebensweise geschildert. Dann folgt die Beschreibung der inneren Organe. Das obere und das untere Schlundganglion werden als Gehirn und kleines

---

1) Siehe Carus, Geschichte der Zoologie. München 1872. Seite 403.

Gehirn unterschieden. Von letzterem geht nach Swammerdams Entdeckung das Mark aus. Es zieht sich durch den ganzen Körper, indem es in gewissen Abständen knotige Verdickungen bildet, aus denen die feineren Nerven hervorsprießen.

In der Brust erblickt Swammerdam die Muskeln der Flügel und der Beine, sowie die Luftröhren. Im Hinterleibe findet er die Speiseröhre, die sich durch die Brust erstreckt, den Magen, die dünnen und die dicken Gedärme, sowie besondere, zum Darm gehörende Drüsen und die Atmungswerkzeuge mit ihren Bläschen und Luftröhren. Das Herz erblickt er gleichfalls, sowie eine Menge Fett und die Muskeln, welche unter den Ringen liegen und sie bewegen.

Sehr genau wird die Entwicklung der Biene von dem Verlassen des Eies an beschrieben; und zwar beschränkt sich Swammerdam nicht etwa auf die Veränderungen, welche die äußere Form erleidet, sondern er geht auf das Wachstum der inneren Organe ein und gelangt dadurch als erster zu einer klaren Auffassung der bis dahin in ihrem Wesen so sehr verkannten Metamorphose der Insekten.

Vor der Zergliederung brachte er die zu untersuchenden Tiere in farbige Flüssigkeiten. Auf diese Weise bekam er Teile zu Gesicht, die sonst nicht oder nicht deutlich genug hervortreten. Öffnete er die Bienenlarve auf der Rückenseite, so quoll ihm nach seiner Schilderung eine Flüssigkeit entgegen, die aus den verletzten Adern und dem Herzen kam. Unter der Haut traf er die Muskeln, welche die Ringe des Leibes bewegen; darauf kam das Fett zum Vorschein und in dem Fett, mitten auf dem Rücken, das Herz als eine lange, den ganzen Rücken bis zum Kopf durchziehende und Gefäße nach allen Richtungen aussendende Röhre. Im weiteren Verlaufe der Zergliederung erblickte er unter dem Herzen den mit unzählig vielen Luftröhren umflochtenen Magen (siehe Abb. 99). Er fand ihn fleischig und mit einer gelben Substanz gefüllt. Hinten am Magen zeigten sich vier Gefäßchen. Es waren die Malpighischen Gefäße, die später (siehe Abb. 99, e) in weit größerer Zahl auftreten und für harnabsondernde Organe gelten, während ihnen früher wohl die Funktion der Leber, also eine Art Gallenbereitung zugeschrieben wurde. Swammerdam selbst sagt von ihnen, er habe ihre Aufgabe nicht erraten können, doch nach langer, unverdrossener Mühe festgestellt, daß diese Gefäße an den Enden g geschlossen sind.

Auf jeder Seite der Bienenlarve wies Swammerdam zehn Atmungsöffnungen nach. Er erkannte auch, daß sämtliche Luftröhren, die in den Körper führen, unter sich verbunden sind, und zwar geschehe dies durch eine Röhre, die von der einen Öffnung zur nächsten, von dieser zur dritten und so fort durch den ganzen Körper ziehe. „Der Bau dieser Luftröhren“, ruft er aus, „ist wunderbar, ja sehr wunderbar; sie bestehen insgesamt aus dicht nebeneinander befindlichen Ringen, welche durch sehr dünne Häutchen miteinander verbunden sind. Die Luftröhren stehen immer offen, wie bei uns Menschen und den höheren Tieren. Auch ist bezüglich der Luftröhren noch zu bemerken, daß sie alle Teile des Körpers, selbst das Gehirn und das Auge durchsetzen, wie ich noch näher bei der Zergliederung dieses unergründlichen Kunst- und Meisterstückes des großen Baumeisters zeigen werde.“

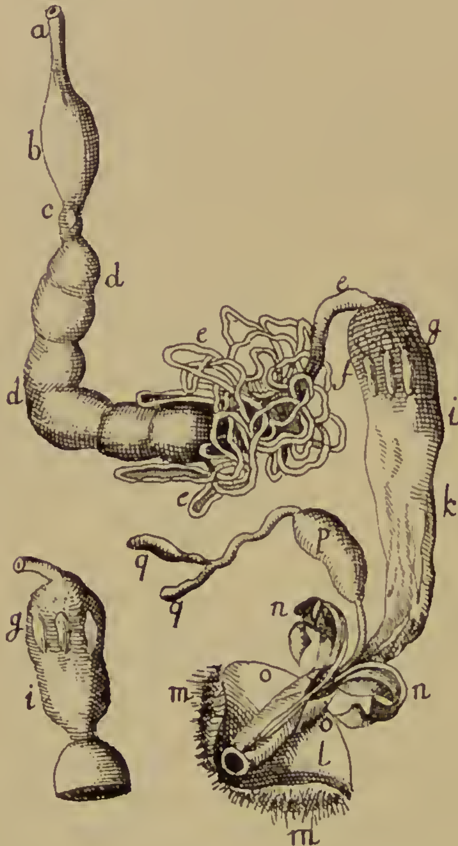


Abb. 99. Swammerdams Zeichnung des Darmkanals der Biene. b Saugmagen; d Magen; e Malpighische Gefäße; p Giftblase; q Giftdrüsen; l Mastdarm; m Teile des letzten Bauchringes

Swammerdam beobachtete auch, daß die Häutung sich bis auf diese zarten Luftröhren erstreckt. Es würden nämlich bei diesem Vorgange ganze Adern und Röhren ausgestoßen, so daß die im Innern abgestreiften Luftröhren in der ihnen eigentümlichen Lage und Gestalt zum Leibe hervordringen. Desgleichen häute sich auch der Magen, der Mund und das Ende des Darmes; doch sei dies schwierig zu beobachten. Auffällig sei auch, daß, nachdem der Wurm zum Püppchen geworden, alle Gliedmaßen, Flügel, Fühler und Freßwerkzeuge Luftröhren besäßen, welche beim Ausstrecken dieser Teile mit Luft gefüllt würden und zur Ausdehnung der Glieder das Ihrige beitrügen.

Mit der Schärfe und Sorgfalt der Beobachtung, die sich in den mitgeteilten Ergebnissen der Untersuchungen Swammerdams ausspricht, steht die klare, vorurteilsfreie Auffassung, welche dieser Forscher den Naturerscheinungen entgegenbringt, im Einklang. Durch Swammerdam, sowie den gleichzeitig lebenden Italiener Redi wurde die seit Aristoteles in den Köpfen der Gelehrten wie der Ungelehrten spukende Ansicht von der Urzeugung niederer Tiere, wenn auch nicht gänzlich beseitigt, so doch für zahlreiche Fälle widerlegt. Wie in früheren Jahrhunderten verschanzte sich nämlich auch im 18. die Unwissenheit stets wieder hinter dieser Irrlehre. Harvey, der in seiner Schrift über die Erzeugung der Tiere[1]) Hervorragendes geleistet und das Wort „Ex ovo omnia“ an ihre Spitze gestellt hatte, besaß durchaus keine klaren Vorstellungen über die Entwicklung der Insekten und der übrigen niederen Tiere. „Einige Geschöpfe“, sagt er, „werden aus einem schon fertigen Stoffe vollends gebildet und aus einer Gestalt in die andere verändert. Alle Teile werden zugleich durch eine Verwandlung geboren und unterschieden. So geschieht die Zeugung der Insekten[2]).“ Harvey zeigte sich in der Behandlung dieser Frage also noch ganz von Aristoteles, sowie der landläufigen Auffassung beeinflußt, für die schon mit dem Worte „Verwandlung“ der Irrtum eng verknüpft war. Welch sonderbare Vorstellung man mit diesem Worte verband, geht auch aus folgenden Ausführungen Harveys hervor: „Durch die Verwandlung erhalten die Tiere eine Gestalt wie durch ein eingedrücktes Siegel. Bei solchen Tieren aber, welche durch Wachstum entstehen, bringt die Bildungskraft andere und anders geordnete Teile nacheinander hervor[3]).“ Wenn man bedenkt, daß einer der hervorragendsten Anatomen des 17. Jahrhunderts solche Vorstellungen hegte, ein Mann, der selbst heute wohl noch auf Grund des oben erwähnten Wortes als ein Bekämpfer der Lehre von der Urzeugung betrachtet wird[4]), so erscheint die Bedeutung Swammerdams erst in vollem Lichte. Wo der letztere das Wort Verwandlung gebraucht, will er darunter nichts anderes verstanden wissen, als einen langsamen, auf natürliche Weise vor sich gehenden Auswuchs der Gliedmaßen, der unter der ursprünglichen

---

[1]) Harvey, Exercitationes de generatione animalium. London 1651.

[2]) De gener. animal. XLV. Leydener Ausgabe vom Jahre 1737. Seite 161.

[3]) A. a. O. Seite 162 und 163.

[4]) Siehe auch „Harvey, Über die Erzeugung der Tiere“ von W. Preyer. Zeitschrift Kosmos, II. Jahrgang. Seite 396.

Hülle stattfindet und sich daher der unmittelbaren Beobachtung entzieht, bis die neue Form die alte Haut plötzlich zersprengt.

Swammerdam hält es für ausgemacht, daß in der ganzen Natur keine Urzeugung, sondern nur Fortpflanzung stattfindet und daß jedes wirbellose Tier aus einem Ei hervorkommt, das ein anderes Tier derselben Art gelegt hat. Zwar ist es ihm nicht möglich, für alle Fälle diese Ansicht durch die Beobachtung zu erweisen. Das von ihm beigebrachte Material ist indes umfangreich genug, um diese auf induktivem Wege zu erlangende Verallgemeinerung zu rechtfertigen. Dazu tritt der von ihm geführte Analogiebeweis durch die Aufdeckung einer von den Anhängern der Urzeugung nicht vermuteten Feinheit im inneren Bau der niederen Tiere. „Alle Züge des Apelles“, sagt Swammerdam in seiner Anatomie des Nashornkäfers[1]), „sind gegen die zarten Striche der Natur nur grobe Balken. Alles künstliche Gewebe der Menschen muß sich vor einer einzigen Trachee verkriechen. Wer will sie abbilden? Welcher Witz vermag sie zu beschreiben? Welcher Fleiß kann sie hinlänglich untersuchen?“ Da also die Organe der Insekten sich als ebenso vollendet, zweckmäßig und kunstvoll gearbeitet erweisen wie diejenigen der allergrößten Geschöpfe, so konnten diese Tiere auch unmöglich, wie die Anhänger der Urzeugung wollten, durch einen zufälligen Zusammenfluß von Stoffen entstanden sein, sondern sie mußten sich gleich den höheren Geschöpfen durch elterliche Zeugung gebildet haben.

Indem Swammerdam bei den Insekten die verschiedenen Arten der Entwicklung unterschied, schuf er zugleich die Grundlage für die heutige Systematik dieser Tierklasse. Der erste Fall besteht nach ihm darin, daß das Tier, in allen seinen Gliedmaßen vollkommen ausgebildet, das Ei verläßt. Als ein Beispiel dieser Gruppe wird die Laus genauer untersucht. Bei dem zweiten Typus findet nach dem Verlassen des Eies nur noch ein allmähliches Heranwachsen der Flügel statt, ein Ruhezustand (Puppenstadium) tritt nicht ein. Swammerdam verfolgt diesen Fall bei der Libelle. Bienen, Ameisen und Käfer kommen unentwickelt aus dem Ei hervor und erhalten die vollkommene Gestalt durch allmähliche Ausbildung der Gliedmaßen unter der Haut. „Endlich“, sagt Swammerdam, „treten alle Glieder, nachdem die Haut

1) Bibel der Natur. 1752. Seite 126.

abgestreift ist, hervor. Der Vorhang, der soviel Irrungen unter den Gelehrten angestiftet hat, wird sozusagen fortgezogen."

Wie erstaunte aber unser Forscher, als einmal aus vier Puppen eines Tagschmetterlings anstatt des erwarteten Falters zahlreiche, kleine, geflügelte Insekten hervorbrachen! Eine Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung konnte erst später erfolgen, als man das geheimnisvolle Treiben der Schlupfwespen kennen gelernt hatte. Diese legen bekanntlich ihre Eier in die Larven anderer Kerbtiere, so daß die Puppe von der sich entwickelnden jungen Brut, welche endlich die Haut durchbricht, aufgezehrt wird.

Einen Bundesgenossen, der auf dem Wege des planmäßigen Versuches gleichfalls zur Erschütterung der Lehre von der Urzeugung beitrug, fand Swammerdam in dem Italiener Redi[1]). Dieser lieferte in einer 1668 erschienenen Schrift, welche er „Versuche betreffend die Erzeugung der Insekten" betitelte, den Nachweis, daß in den von ihm untersuchten Fällen vermeintlicher Urzeugung die Insekten nicht aus faulenden Stoffen, sondern aus Eiern entstanden, welche Tiere derselben Art vorher in die betreffenden Substanzen gelegt hatten. In richtiger Vorahnung der Erkenntnis einer späteren Zeit bemerkt Swammerdam hierzu, kein Tier werde durch Fäulnis erzeugt, sondern es werde umgekehrt die Fäulnis erst durch die Tiere verursacht.

Am bekanntesten ist Redis Versuch, durch den er die Entstehung der Fleischmaden auf Fliegeneier zurückführte. Wurde nämlich das Fleisch mit einem feinen Netz bedeckt, das die Fliegen an der Ablage der Eier hinderte, so traten auch keine Maden auf.

Auch für einige parasitäre Würmer lieferte Redi den Nachweis, daß sie durch Zeugung entstehen. Trotzdem fand die Lehre von der Urzeugung immer wieder der Forschung noch zu sehr verschlossene und unwiderleglichen Beweisen wenig zugängliche Gebiete, wo sie ihr Dasein bis in die neueste Zeit hinein weiter fristen konnte. Über Redi sei noch erwähnt, daß er sich auch um die Anatomie der Schlangen, des Zitterrochens und der Vögel Verdienste erworben hat. Seine Untersuchung des Vogelkörpers

[1]) Francesco Redi (1618—1676), Arzt in Florenz und Mitglied der Accademia del Cimento.

erstreckte sich besonders auf die Luftsäcke, welche von der Lunge aus der Luft einen Zutritt bis in die Knochen gestatten.



Abb. 100. Malpighis Darstellung des Nervensystems beim Seidenschmetterling[1]).

Der hervorragendste Forscher auf den Gebieten der Anatomie, der Physiologie und der Entwicklungsgeschichte, welchen das Italien des 17. Jahrhunderts hervorbrachte, war Marcello Malpighi[2]) (1628 bis 1694), ein Schüler und Freund Borellis. Seine Verdienste um die Einführung des Mikroskops in das naturwissenschaftliche Studium, sowie um die Begründung der Pflanzenanatomie wurden schon gewürdigt. Malpighi machte von Swammerdams Erfindung der Injektion, d. h. der Erfüllung feiner Gefäße mit gefärbten Flüssigkeiten oder erstarrenden Massen (z. B. geschmolzenem Wachs) ausgedehnten Gebrauch. Gleich dem niederländischen Forscher, welcher die Hoffnung aussprach, daß man durch das Studium der Insekten zu den Gründen der Zeugung anderer Tiere gleichsam hinaufsteigen werde, läßt Malpighi sich von dem richtigen Gedanken leiten, durch die Erforschung der niederen Formen ein tieferes Verständnis des Baues der höheren Tiere anzubahnen, ein Gedanke, der ihn zur Beschäftigung mit den Pflanzen als den einfachsten Organismen geführt hatte. So lieferte Malpighi eine für jene Zeit mustergültige Arbeit über den Seidenschmetterling[3]), dessen Anatomie und Entwicklung er eingehend untersuchte. Diese Arbeit enthält die erste Beschreibung des Rückengefäßes und des Nervensystems der Insekten, sowie der Spinndrüsen und der nach ihrem Entdecker

1) Malpighi, De Bombycibus. Tab. VI. Fig. 2.

2) Professor der Medizin in Bologna, später Leibarzt von Papst Innocenz XII.

3) Malpighi, Opera omnia, London 1686.

genannten Blindsäcke, welche Swammerdam später auch an der Biene nachwies[1]).

Die nebenstehende Abbildung gibt uns Malpighis Zeichnung des bauchständigen zentralen Nervenstranges wieder. Malpighi unterschied daran 13 Nervenknoten. Von diesen aus verfolgte er die Nervenstränge in ihren einzelnen Verzweigungen. Er zeigte z. B., daß von den Knoten I, I Nerven nach den Augen und den Freßwerkzeugen geschickt werden. Die Knoten G G befinden sich nach seiner Schilderung zwischen den beiden vordersten Öffnungen des Tracheensystems. Dann treten die beiden Nervenstränge in O weit auseinander und bilden auf diese Weise den Schlundring. M endlich bezeichnet die letzten feinen Verzweigungen des ganzen Stranges.

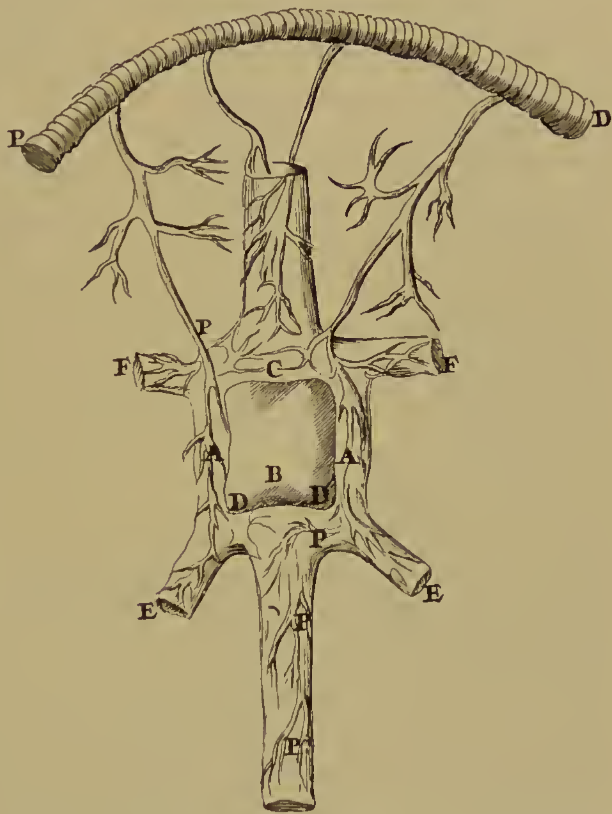


Abb. 101. Malpighi untersucht die Verbindung eines Nervenknotens mit dem Tracheensystem.

Die erste Figur der Tafel II (siehe Abb. 101) zeigt uns, mit welcher Genauigkeit Malpighi den Lauf der von den paarweis sich gegenüberstehenden Öffnungen (Stigmen) 1 bis 9 ausgehenden Tracheen verfolgt hat. Die Figur stellt die feinsten Tracheenverzweigungen dar, welche einen Nervenknoten versorgen. Wenn man sich vergegenwärtigt, welch winziges Gebilde ein solcher Knoten ist, so muß man nicht nur die Sorgfalt des Forschers, sondern auch die Güte, welche das Mikroskop innerhalb eines verhältnismäßig kurzen Zeitraumes erreicht hatte, anerkennen. Die große, obere Trachee, deren Spiralwindungen zu erkennen sind, verbindet zwei einander gegen-

1) Siehe Seite 326.

über stehende Stigmen. Sie sendet Äste, die in die feinsten Verzweigungen auslaufen, nach dem benachbarten Nervenknoten. Den übrigen Knoten und dem sie verbindenden Mark, sowie allen übrigen Geweben wird in entsprechender Weise Luft zugeführt.

In Malpighis Arbeit über den Seidenschmetterling werden auch die Verdauungsorgane und der Fortpflanzungsapparat beschrieben. Ferner sucht Malpighi die Veränderungen festzustellen, welche die einzelnen Organsysteme während der verschiedenen Entwicklungsstufen des Insekts durchlaufen.

Ein Gegenstück zur Entwicklungsgeschichte des Seidenschmetterlings lieferte Malpighis Untersuchung der Entstehung eines Wirbeltieres, nämlich des Hühnchens im Ei. Es wird damit ein Problem wieder aufgenommen, das schon Aristoteles und den der vorigen Periode angehörenden Fabricius beschäftigt hatte. Auch zur Bewältigung dieser Aufgabe, welche erst in unserem Jahrhundert, seitdem von Baer die Embryologie zur wichtigsten Grundlage der zoologischen Forschung erhoben hatte, einer befriedigenden Lösung entgegengeführt wurde, hat Malpighi zum erstenmal die Hilfe des Mikroskops in Anspruch genommen. Insbesondere wurde die Entstehung der Wirbelsäule, sowie der Gehirnabteilungen am Hühnchen verfolgt.

Wir wollen auch bei dieser Abhandlung, welche Malpighi „Über das bebrütete Ei“ betitelte und 1672 herausgab, einen Augenblick verweilen, da sie die Grundlage für alle weiteren entwicklungsgeschichtlichen Arbeiten geworden ist. Der Wert der Abhandlung wird dadurch noch erhöht, daß Malpighi ihr eine größere Zahl (59) vortrefflicher Abbildungen beigegeben hat. Die zweite Tafel, welche die Entstehung der Wirbelsäule und der Gehirnanlagen erkennen läßt, ist in nachstehender Abbildung 102 wiedergegeben. In Fig. VIII erblicken wir eine Furche, die Primitivrinne oder nach Malpighis Bezeichnung die Carina. A ist als Kopfende, dem sich die erste Andeutung des Halses ansetzt, und D, D sind als die Wirbelanlagen zu erkennen.

In Fig. XI zeigt uns Malpighi, daß am Grunde der Rinne sich das Rückenmark (C) bildet, dem in der Kopfgegend einige blasenartige Auftreibungen (Vesiculae cerebri nennt sie Malpighi) anhängen. Wie sich die Rinne allmählich schließt und mit ihren Rändern verwächst, zeigt Fig. XVII. Fig. XVI stellt die Umgebung der embryonalen Anlagen dar. Wir erkennen aus Malpighis Zeichnung den Sack F und mehrere Zonen, von denen er die Zone H Area umbilicalis nennt.

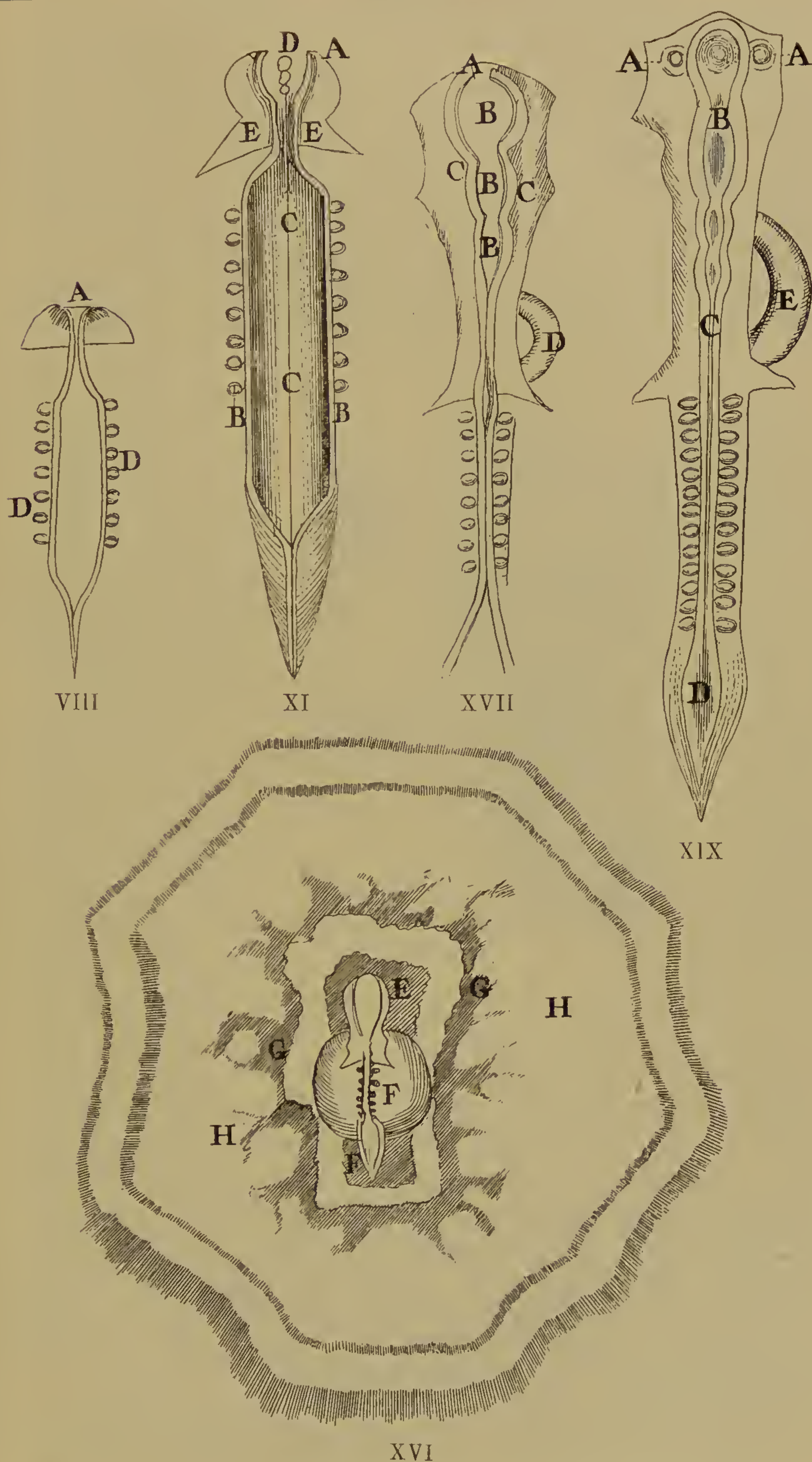


Abb. 102. Malpighis Darstellung der Entwicklung eines Wirbeltieres.

In Fig. XVII erscheint zuerst die Anlage des Herzens (D) als ein einfaches Rohr. Gleichzeitig bemerkt man (Fig. XVIII) auf der als Area umbilicalis bezeichneten Zone zahlreiche Gefäße, welche bei B dargestellt sind (Abb. 103). Diese Gefäße sehen, wie Malpighi beobachtete, zuerst gelblich aus, nehmen aber bald eine rötliche Farbe an. Fig. XIX (Abb. 102) stellt das Erscheinen der Augen (A) zu beiden Seiten der Hirnanlage dar.

Mit Recht muß man Malpighi das große Verdienst zuerkennen, daß er eine fast den ganzen Gang der Entwicklung des Embryos umfassende Darstellung gegeben hat, die in vielen Punkten durch spätere Untersuchungen vollste Bestätigung fand und grundlegend für die weitere Bearbeitung der Embryologie geworden ist[1]).

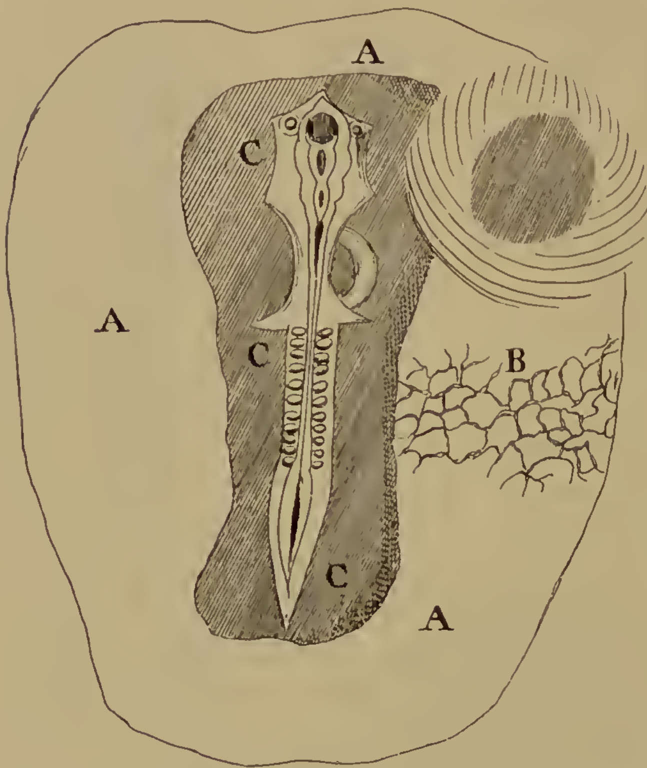


Abb. 103. Malpighis Darstellung der Entwicklung eines Wirbeltieres.

Zu einer genaueren Untersuchung des Nervensystems, insbesondere des Gehirns, erwiesen sich die Mikroskope, mit welchen Malpighi seine Forschungen anstellte, noch nicht als ausreichend. So faßte er z. B. die Nerven als hohle Röhren und das Gehirn als ein drüsenartiges Organ auf. Diese Sinnestäuschungen führten auf dem Gebiete der Physiologie und der so eng mit ihr verknüpften Psychologie zu sonderbaren Irrlehren. So nahm man an, daß feine, flüssige Absonderungen im Gehirne abgeschieden und als Lebensgeister (Spiritus animales) durch die Nerven, in einer dem Kreislauf des Blutes ähnlichen Bewegung, dem ganzen Körper zugeführt würden.

1) A. Hirsch, Geschichte der medizinischen Wissenschaften. 1893. S. 122.

Während die zuletzt genannten Mikroskopiker dieses Zeitraumes bei ihren Forschungen planmäßig zu Werke gingen, entsprangen die Untersuchungen des Niederländers Leeuwenhoek (1632—1723) mehr der Liebhaberei als dem Bedürfnis nach Vertiefung in den Gegenstand. Leeuwenhoek eröffnet die Reihe jener Männer, die insbesondere während des 18. Jahrhunderts eifrig mikroskopierten, um ihr Gemüt und ihre Augen zu ergötzen[1]). Doch ist ihm eine Fülle mikroskopischer Entdeckungen zu verdanken. Seine sich über 50 Jahre erstreckenden Beobachtungen hat er in einer Reihe von Briefen mitgeteilt, die später zu einem Werke vereinigt wurden[2]).

Anton van Leeuwenhoek wurde 1632 zu Delft geboren. Er wurde zum Kaufmannsstande bestimmt und wandte sich, ohne eine wissenschaftliche Ausbildung erlangt zu haben, der Verfertigung von Linsen und der Erschließung der gesamten bisher unsichtbaren Welt des Kleinen zu. Seine Abhandlungen über die erschlossenen Naturwunder sandte er an die Royal Society, die sie in den Philosophical Transactions veröffentlichte. Die erste dieser Abhandlungen datiert vom Jahre 1673. Das Werk, in welchem er sämtliche Abhandlungen vereinigte, erschien zuerst in holländischer Sprache. Leeuwenhoek soll nämlich kein Latein verstanden haben. Von 1695—1719 wurde es unter dem Titel Arcana naturae ope microscopiorum detecta (Geheimnisse der Natur mit Hilfe der Mikroskope entdeckt) in vier starken Bänden und durch viele Abbildungen erläutert herausgegeben. Die Royal Society machte Leeuwenhoek zu ihrem Mitgliede. Er starb im Alter von 90 Jahren (1723) zu Delft, wo ihm ein prächtiges Denkmal errichtet wurde.

Am bekanntesten ist Leeuwenhoek durch seine 1675 erfolgte Entdeckung der Aufgußtierchen geworden, von denen er eine Anzahl Formen beschrieb. Er sah und beschrieb auch die Rädertiere. Die Mängel, welche seinen Hilfsmitteln noch anhafteten, verleiteten ihn, den Infusorien Organe und Verrichtungen (wie die Begattung) zuzuschreiben, die bei ihnen nicht vorkommen. Leuwenhoek entdeckte die Infusorien nach seiner Schilderung in Aufgüssen und im Schleime des Mundes. Über letzteren berichtet er folgendes[3]): „Ich untersuchte die weiße Masse, die sich zwischen den Zähnen bildet und mischte sie mit Regenwasser, in dem sich keine

[1]) Ledermüller, Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen. 1763.
[2]) Leeuwenhoek, Arcana naturae. Delphis Batavorum 1695.
[3]) Arcana naturae Bd. I. S. 42.

Tierchen befanden. Ich nahm dann zu meiner großen Verwunderung wahr, daß sich in der erwähnten Materie viele, sehr kleine Geschöpfe befanden, die sich in der ergötzlichsten Weise bewegten." Zur Erläuterung des Gesagten diene nebenstehende Abbildung 104 Leeuwenhoeks, die offenbar Bazillen und Aufgußtierchen darstellt.

Im Zusammenhang mit dieser Entdeckung mikroskopisch kleiner Organismen im lebenden Körper entstand schon im 17. Jahrhundert eine allerdings noch sehr phantastische und den Kausalzusammenhang noch kaum berücksichtigende Lehre von den organisierten Krankheitserregern (dem Contagium animatum)[2]. Während des 18. Jahrhunderts fand durch die weitere Ausdehnung der mikroskopischen Forschung die Vermutung, daß ein ursächlicher Zusammenhang zwischen gewissen Krankheiten und niederen Organismen bestehe, mehr und mehr festen Boden, bis dann im 19. Jahrhundert die Lehre vom Contagium animatum zu einem fest begründeten Bestandteil der Pathologie nicht nur des Menschen, sondern auch der höheren Tiere und Pflanzen wurde.

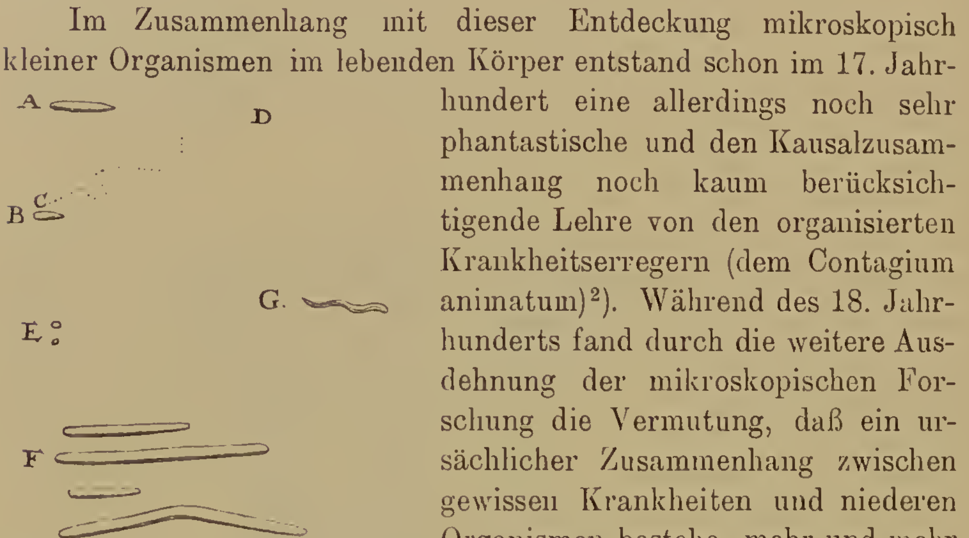


Abb. 104. Leeuwenhoeks Abbildung von im Schleime des Mundes vorkommenden Infusorien und Bazillen [1]).

Auch die Zellen der Hefe hat Leeuwenhoek (1680) wahrgenommen, ohne sie jedoch als Organismen zu deuten.

Er entdeckte ferner die Blutkörperchen und das bekannte wunderbare Schauspiel der Zirkulation des Blutes in dem Körper der Froschlarven. „Als ich den Schwanz dieses Würmchens untersuchte", so berichtet er, „nahm ich ein Schauspiel wahr, das an Entzücken alles übertraf, was ich bisher gesehen. Nicht nur sah ich das Blut durch die feinsten Gefäße von der Mitte des Schwanzes zu den äußeren Teilen strömen, sondern jedes Gefäß machte eine Biegung und beförderte das Blut wieder zur Mitte des Schwanzes zurück, damit es von neuem zum Herzen ströme"[3]). Leeuwenhoek bemerkte auch die Knospung der Süßwasser-

1) Arcana naturae. Bd. I. S. 42.
2) Hirsch, Geschichte der Medizin. S. 493.
3) Arcana naturae. 1695. Bd. I. S. 173.

polypen, sowie die parthenogenetische Fortpflanzung der Blattläuse, die er mit folgenden Worten schildert: „Die von mir entdeckte Art der Fortpflanzung dieser Geschöpfe erschien mir merkwürdiger als irgend eine der bisher bekannt gewordenen. Vergebens suchte ich nach Eiern oder Männchen. Endlich beschloß ich, die größeren von ihnen aufzuschneiden, damit ich Eier aus ihrem Körper erhielt. An Stelle der Eier zog ich jedoch voll Verwunderung kleine Tierchen hervor, die in ihrem Aussehen den Muttertieren so ähnlich waren wie ein Ei dem andern. Nicht nur eins, sondern wohl vier zog ich vollkommen ausgebildet aus demselben Körper hervor[1].“

Leeuwenhoek sah auch, daß die Ameisen gern die Blattläuse aufsuchen, glaubte aber, daß letztere von den Ameisen verzehrt würden, während letztere ja nur den von den Blattläusen ausgeschiedenen, als Honigtau bezeichneten Saft genießen. Für den Honigtau, von dem man bisher annahm, daß er aus der Luft auf die Blätter gelange, wies Leeuwenhoek den tierischen Ursprung nach.

Die grundlegenden Entdeckungen, welche Leeuwenhoek über den mikroskopischen Bau des Menschen und der höheren Tiere machte, sind so zahlreich, daß sie hier nicht alle erwähnt werden können. Er erkannte den faserigen Bau der Nerven, beging allerdings den Irrtum, die Nervenfaser für hohl zu halten. Ferner erfuhr die Anatomie des Auges die größte Erweiterung durch Leeuwenhoeks mikroskopische Untersuchung dieses so oft schon vor ihm durchforschten Organs. Er erkannte, daß die Linse aus elastischen Fasern zusammengesetzt ist, welche mehrere Schichten bilden, so daß dieser Teil des Auges in drei Teile gespalten werden kann. Auch für die Hornhaut wies Leeuwenhoek die faserige Beschaffenheit und das Vorhandensein eines epithelialen Überzugs nach. Ferner machte er am Auge noch die wichtige Beobachtung, daß die Netzhaut, der er eine genauere Beschreibung widmet, eine Stäbchenschicht enthält, wenigstens finden wir bei ihm die erste Andeutung einer solchen[2]. Am Insektenauge wies Leeuwenhoek die Zusammensetzung aus zahlreichen Facetten nach. Er entdeckte ferner die Schuppen der

---

[1]) Arcana naturae, 1695, Bd. I. Brief 90. Die nähere Aufklärung über dies Verhalten der Blattläuse gab Bonnet im 1. Bande seiner Insektologie. Paris 1745.

[2]) Hirsch, Geschichte der Medizin. S. 115.

Oberhaut, die Röhrchen in der Zahnsubstanz und zahllose andere Einzelheiten.

Nachdem im Jahre 1677 der in Leyden studierende Deutsche Ludwig Ham die wunderbare Entdeckung gemacht hatte, daß sich im menschlichen Samen selbständig sich bewegende Gebilde befinden, die man Samentierchen nannte, bestätigte Leeuwenhoek diese Beobachtung. Er beschränkte sich aber nicht auf diesen einzelnen Fall, sondern dehnte die Frage nach dem Vorkommen ähnlicher Gebilde über das gesamte Tierreich aus und vermochte bei allen Klassen das Vorhandensein von Samenfäden nachzuweisen. Durch diese Entdeckung empfing die von Harvey begründete Lehre von der Evolution zunächst eine wesentliche Umgestaltung. Leeuwenhoek glaubte nämlich, daß in den Samenfäden die Anlage des Embryos enthalten sein müsse und daß den weiblichen Geschlechtsorganen etwa die Rolle von Brutbehältern zukäme.



Abb. 105. Leeuwenhoeks Darstellung der Muskelfasern des Herzens.

Endlich sei hervorgehoben, daß Leeuwenhoek die Querstreifung an den willkürlichen Muskeln entdeckte. Die untenstehende Abbildung 105 zeigt seine Darstellung einiger Muskelfasern

des Herzens, welche die Eigentümlichkeit besitzen, sich netzartig zu verzweigen, während die gewöhnlichen Fasern parallel laufen[1]).

Die größte Bewunderung hat es erregt, daß Leeuwenhoek eine gewaltige Summe verhältnismäßig oft recht schwieriger Beobachtungen nicht mit dem zusammengesetzten, sondern mit dem einfachen Mikroskop anstellte, obgleich Robert Hooke dem erstgenannten Hilfsmittel schon um 1660 eine für wissenschaftliche Arbeiten ganz geeignete Form gegeben hatte. Mit seinen einfachen bikonvexen Linsen, die Leeuwenhoek mit unübertrefflicher Geschicklichkeit anzufertigen verstand, erreichte er eine 160fache lineare Vergrößerung. Nach seinem Tode gelangten diese Vergrößerungsgläser in den Besitz der Royal Society. Mit solch einfachen Hilfsmitteln ließen sich die erwähnten Entdeckungen nur machen, wenn das Auge des Beobachters von außergewöhnlicher Schärfe und gut geschult war und wenn sich dazu noch eine ganz außerordentliche Geschicklichkeit und Ausdauer gesellten. Bezüglich der Abbildungen Leeuwenhoeks ist allerdings mit Recht bemerkt worden, daß sie mit den von Malpighi und anderen Forschern jener Zeit herrührenden Abbildungen den Vergleich nicht aushalten.

Diese Musterung der Erfolge eines Steno, Grew, Malpighi, Swammerdam und Leeuwenhoek lehrt, daß in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts der gewaltige Anstoß, welcher mit der Begründung der Dynamik anhob und darauf die gesamte Physik und Astronomie ergriff, auch auf die übrigen Gebiete der Naturwissenschaften seine Wirkung übte, so daß überall neue Grundlagen geschaffen wurden. Auf diesen hat das nachfolgende 18. Jahrhundert während des größten Teiles seines Verlaufes in ruhiger Entwicklung weiter gebaut. Erst gegen das Ende des 18. Jahrhunderts trat von neuem ein gewaltiger Umschwung auf fast allen Gebieten ein. Dieser kennzeichnet den Beginn der neuesten und letzten Periode in der Entwicklung der Wissenschaften, die uns nicht nur unmittelbar in die Geschehnisse des Tages hinüberleitet, sondern auch zahlreiche Keime künftiger Verallgemeinerungen, Entdeckungen und Erfindungen in sich birgt.

[1]) Abbildung aus Leeuwenhoeks Arcana naturae, 1695. Bd I. Seite 447.

16. Die Begründung der Pflanzenanatomie und der Lehre von der Sexualität der Pflanzen.

Der Engländer Hooke, dessen Verdienst um die Verbesserung des Mikroskops wir kennen gelernt haben, war der erste, welcher den zelligen Bau der Pflanzen wahrnahm, ohne indes im entferntesten die Bedeutung des Gesehenen zu ahnen. Als er den dünnen Schnitt eines Flaschenkorkes betrachtete, erblickte er zahlreiche, durch Wände getrennte Räume, denen er die bis auf den heutigen Tag für die Elementarorgane des Tier- und Pflanzenkörpers gebliebene Bezeichnung „Zellen" gab. Hooke berechnete, daß 1200 Millionen solcher Zellen auf einen Kubikzoll Kork kommen. Die nebenstehende Abb. 106 ist eine Wiedergabe des ältesten Bildes, welches den zelligen Bau der Korbsubstanz erläutert [1]). Die gleiche Art des inneren Gefüges wies Hooke

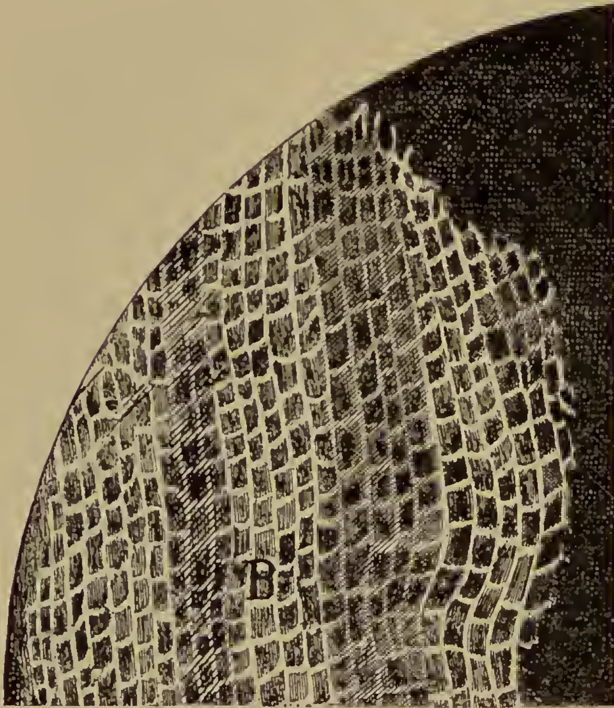


Abb. 106. Die älteste Abbildung, welche den zelligen Bau der Korksubstanz erläutert.
Hookes Micrographia, Schem. XI, Fig. 1.

1) Hooke, Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies. London 1667. pg. 112 (Observat. XVIII).

für das Mark des Hollunders, sowie für das Holz verschiedener Pflanzen nach. Dabei entging ihm nicht, daß die Zellen oft langgestreckt und im frischen Zustande mit Saft gefüllt sind. Hooke bemerkte manche weitere Einzelheit. So beschreibt er die Spiralgefäße des Holzes, die Brennhaare der Nesseln, deren Saft er als die Ursache des Brennens erkannte[1]), den Bau der Schimmelpilze usw.

Nur gelegentliche Entdeckungen über den inneren Bau der Pflanzen machte Leeuwenhoek, dessen Verdienste um die mikroskopische Erforschung des Tierleibes wir im vorigen Abschnitt kennen gelernt haben. So entdeckte Leeuwenhoek die Tüpfel auf den im Holz verlaufenden Gefäßen. Die merkwürdige Erscheinung richtig zu deuten, gelang erst im 19. Jahrhundert. Leeuwenhoek war ferner der erste, der auf das Vorkommen von Kristallen im Innern der Pflanze hinwies.

Die ersten planmäßigen, pflanzenanatomischen Untersuchungen sollten nicht lange auf sich warten lassen. Sie erfolgten durch Nehemia Grew, einen Landsmann Hookes, und den als Anatomen und Physiologen hervorragenden Italiener Malpighi. Beide Männer legten die Ergebnisse ihrer Forschungen fast gleichzeitig (im Jahre 1671) der Royal Society vor. Eine ausführliche Darstellung gaben sie in zwei umfangreichen, erst mehrere Jahre später veröffentlichten Werken[2]).

Die von Grew und Malpighi unabhängig voneinander angestellten Untersuchungen verfolgen nicht etwa schon das Ziel, die Zelle, deren Inhalt man erst viel später seinem Wesen nach verstehen lernte, als das Grundorgan aller Pflanzenteile nachzuweisen. Neben der Beschreibung der mit bloßem Auge nur unvollkommen sichtbaren äußeren Pflanzenteile, insbesondere der Blütenorgane, Knospenanlagen, Früchte, Samen usw., beschränken sie sich auf die Darstellung grob anatomischer Verhältnisse. Ihre Untersuchung läuft mehr auf eine Zergliederung der Organe in die einzelnen Gewebe als auf den Nachweis der Gewebselemente und deren gesetzmäßige Verknüpfung hinaus. Das ganze Verfahren ist

---

1) Micrographia. S. 143.

2) Malpighi, Anatome plantarum. 1675. Grew, The anatomy of plants. 1682. Fol. mit 83 Kupfertafeln.

Siehe Marcellus Malpighi, Die Anatomie der Pflanzen, bearbeitet von M. Möbius. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 120. S. 31. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1901.

analytisch. Als Elemente der Gewebe werden Fasern und Zellen unterschieden.

Nehemia Grew wurde 1628 als der Sohn eines Geistlichen in England geboren. Er widmete sich dem ärztlichen Beruf, daneben aber phytotomischen Untersuchungen. Grew bekleidete als Mitglied der Royal Society das Amt ihres Sekretärs. Er starb im Jahre 1711.

Grews „Anatomie der Pflanzen" zeugt von einer hervorragenden Geschicklichkeit im Mikroskopieren und von einem ganz außerordentlichen Beobachtungsvermögen. Will man die Bedeutung dieses Buches würdigen, so muß man erwägen, daß Grew keinen Vorgänger auf dem von ihm durchforschten Gebiete hatte, sondern nur vereinzelte, dazu meist unrichtig gedeutete Beobachtungen vorfand, und daß trotzdem noch heute sein Buch wegen der klaren Anschauung, die es vermittelt, Anfängern zur ersten Orientierung von berufenster Seite empfohlen werden konnte[1]). Die folgenden Abschnitte mögen aus dem Inhalt des großen, unsterblichen Werkes einiges wiedergeben.

Neben dem Grundgewebe oder Füllgewebe, für welches Grew das noch heute gebräuchliche Wort „Parenchym" einführte, unterschied er drei Arten von Fasern, die Spiralröhren, die Faserzellen und die Saftgänge (milk vessels). Nicht verdickte Teile der Zellwände hatten die ersten Beobachter wohl für Löcher gehalten, durch welche die Saftbewegung vor sich gehe. Grew widerlegte diese Ansicht und zeigte, daß die Wände des Parenchyms nicht durchbohrt seien, sondern daß dieses Gewebe am besten mit dem Schaum auf Flüssigkeiten verglichen werden könne. Der von Grew stammende Ausdruck „Gewebe" für alle aus gleichartigen Elementen bestehenden Zellenvereinigungen ist wie der Ausdruck „Parenchym„ in die heutige Terminologie übergegangen. Grews damit verknüpfte Vorstellung, daß das Innere der Pflanze mit einem künstlichen Gewebe, einem Spitzengewebe etwa, verglichen werden könne, hat sich allerdings als unzutreffend erwiesen.

Grew bemerkte auch die Spaltöffnungen der Blattoberhaut. Diese wichtige Entdeckung leitete ihn auf die Vorstellung, daß die Aufgabe der Blätter in dem Verkehr des Pflanzeninnern mit der Außenwelt, also im Ein- und Ausatmen bestehe. Allerdings war die Chemie im 17. Jahrhundert noch zu wenig entwickelt, um den Verlauf dieses Stoffaustausches näher festzustellen.

---

[1]) Sachs, Geschichte der Botanik. S. 259.

Da Grew sich stets bemühte, das Gesehene physiologisch zu deuten, so kann es nicht Wunder nehmen, daß er bei der mikroskopischen Untersuchung der Blütenteile auch auf die Frage nach der Sexualität der Pflanze geführt wurde. Er bejahte diese wichtige Frage, welche zehn Jahre nach ihm in Deutschland durch Camerarius[1]) gleichfalls im bejahenden Sinne entschieden wurde. Grews Ausführungen über diesen Punkt lauten etwa folgendermaßen. In der Blume befinde sich ein Samen erzeugender Teil, die Staubgefäße, und ein dem Eierstock entsprechender Teil. Letzterer werde durch die Kügelchen, die sich in den Staubgefäßen befänden und dem Samen der Tiere gleichwertig seien, befruchtet. Die Pflanze sei also ein Zwitter[2]). Trotz dieser das Wesen der Sache treffenden Vorstellung gebührt die Priorität der Entdeckung dem Camerarius, weil dieser die Notwendigkeit des Zusammenwirkens von Staubgefäß und Stempel zum Zwecke der Befruchtung zuerst durch einwandfreie Versuche erhärtete.

Neben Grew ist vor allem der Italiener Malpighi unter den Begründern der Phytotomie zu nennen. Marcello Malpighi wurde am 10. März des Jahres 1628 in der Nähe von Bologna geboren. Er studierte in Pisa, wo er mit dem zwanzig Jahre älteren Borelli, der ihn unterrichtete, ein enges Freundschaftsbündnis einging. Borelli war eins der hervorragendsten Mitglieder der Accademia del Cimento, welche im Geiste Galileis die Erforschung der Natur durch ausgedehnte Anwendung des Experiments erstrebte. Borelli war es, der die neue Forschungsweise auf das Gebiet des organischen Lebens ausdehnte, und auf diesem Wege folgte ihm in Italien sein Freund und Schüler Malpighi. Nach Beendigung seiner medizinischen Studien beschäftigte sich Malpighi besonders mit anatomischen Untersuchungen. Im Jahre 1656 wurde er Professor der Medizin in Bologna. Mit wenigen Unterbrechungen lehrte er dort bis 1691. In diesem Jahre ernannte ihn Papst Innozenz XII. zu seinem Leibarzt. Infolgedessen siedelte Malpighi nach Rom über, wo er im Jahre 1694 starb.

Malpighi[3]) weist insbesondere auf die große Verbreitung der Spiralröhren hin (Abb. 107). Überall wird die Frage nach der

---

1) S. S. 348.

2) The anatomy of plants. S. 172.

3) Siehe Marcellus Malpighi, Die Anatomie der Pflanzen, bearbeitet von M. Möbius. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 120. S. 31. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1901.

Funktion der beschriebenen Elemente mit den anatomischen Befunden verknüpft. Die Physik und insbesondere die Chemie waren indes noch nicht imstande, der Pflanzenphysiologie ihre unentbehrliche Hilfe zu gewähren, so daß die Fragen nach der Saftbewegung und der Ernährung, obwohl sie im Mittelpunkte des Interesses standen, keine sachgemäße Behandlung finden konnten. Malpighi, der sogar eine peristaltische Bewegung der Spiralröhren[1]) wahrgenommen haben wollte, gelangte immerhin zu der für die weitere Entwicklung der Ernährungsphysiologie grundlegenden Erkenntnis, daß die Blätter diejenigen Organe sind, welche die Nahrung der Pflanzen bereiten. Auch zeigte er, daß das Produkt der Assimilation von hier aus in die übrigen Teile des Organismus gelangt und dort entweder zunächst aufgespeichert oder sofort zum Wachstum verwendet wird.

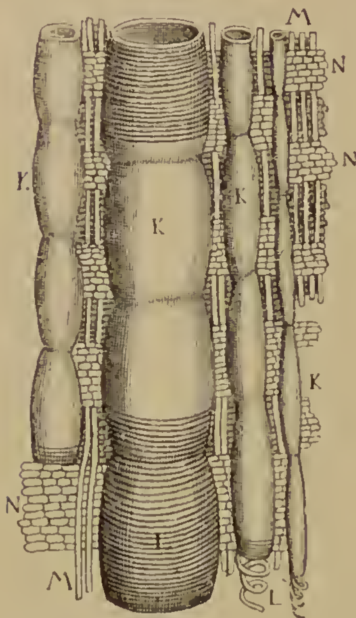


Abb. 107. Malpighis Darstellung eines Längsschnittes durch das Holz der Rebe. Man erkennt die Spiralgefäße (K), die Holzfasern (M) und horizontal verlaufende Zellreihen (N).

Malpighis Werk beginnt mit einer genial hingeworfenen Skizze über den Bau und die Verrichtungen der pflanzlichen Organe. Er nennt diesen Abschnitt Anatomes plantarum idea. Was diese Übersicht bringt, ist im wesentlichen dasjenige, was Malpighi schon im Jahre 1671, um sich die Priorität zu sichern, der Royal Society, welcher der italienische Forscher seit 1669 als auswärtiges Mitglied angehörte, unterbreitet hatte. Dann folgt die durch nicht weniger als 93 Tafeln unterstützte ausführliche Darstellung.

Von besonderem Interesse ist es, zu erfahren, wie bei Malpighi und denjenigen seiner Zeitgenossen, in denen der Geist der neueren Naturwissenschaft wirkte, der Bruch mit der bisherigen Art der Forschung zum Ausdruck kam. Die Kriege und die staat-

[1]) Die Spiralröhren bestehen nach Malpighi aus einem zarten Streifen von geringer Breite, der spiralig verläuft und an den äußeren Rändern zusammenhängt. „Findet ein Zerreißen statt, so zerfällt das Spiralband nicht in einzelne Ringe, wie es bei der Trachea der höheren Tiere der Fall ist, sondern es entsteht ein langes Band" (Ostwalds Klassiker 120. S. 7).

lichen Veränderungen haben nach Malpighis Ansicht die Entwicklung der Wissenschaften nicht so ungünstig beeinflußt wie die verkehrte Art des Studiums. Bisher habe man nämlich die Wissenschaften stets in ihrem ganzen Umfang durchmessen und sie als etwas Fertiges betrachtet, anstatt sich der andauernden und genauen Durchforschung eines begrenzten Gebietes zu widmen. Auch er habe sich in der Begeisterung seiner Jugend gleich an die Anatomie der höheren Tiere gewagt. Da ihm indessen vieles dunkel geblieben sei, so sei er auf den Gedanken gekommen, das Wesen der Dinge durch Analogien zu erschließen und durch Vermittlung der einfacheren, leichter verständlichen Erscheinungen die schwierigeren zu erforschen. So sei er zur Untersuchung der Insekten geschritten, um den Körperbau der vollkommneren Tiere zu begreifen. Aber auch auf diesem Gebiete seien ihm die Schwierigkeiten zu groß erschienen; deshalb habe er sich zuerst an die Erforschung der Pflanzen begeben, um nach eingehender Beschäftigung mit ihnen seine Schritte wieder zurück zu wenden und über die Stufe der Pflanzenwelt den Weg zu den früheren Problemen zu finden. Eigentlich, meint er mit Recht, hätte er zur Erklärung des Organischen von der Erforschung der Mineralien oder gar der Elemente ausgehen müssen. Ein solches Unternehmen würde jedoch seine Kräfte überstiegen haben.

Malpighi untersucht dann besonders die Anatomie des Stammes, während er sich bezüglich der Blätter und der Blüten mehr auf die makroskopischen oder grob anatomischen Verhältnisse beschränkt. Der äußerste Teil der Pflanze ist eine Haut, die aus Säckchen (Zellen) besteht, welche im Alter entleert werden und eine trockne Oberhaut darstellen. Darunter kommen netzartig verschlungene Fasern zum Vorschein, zwischen denen jedoch wieder längliche Säckchen auftreten, die in horizontaler Richtung gegen das Holz verlaufen. Ähnlich fand er das Holz aus längs verlaufenden Fasern und Spiralröhren zusammengesetzt, deren Maschen wieder von horizontal verlaufenden Schlauchbündeln durchsetzt werden. Unklar blieb ihm der Ursprung der Holz- und Rindenschichten aus dem zwischen beiden liegenden Bildungsgewebe, dem Cambium. Malpighi läßt die Holzlagen aus den innersten Schichten der Rinde hervorgehen, ein Irrtum der sich in der Pflanzenanatomie bis in die ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts hinein erhalten hat. Häufig war ihm der Gedanke gekommen, daß in der faserigen Rinde die Anlagen, aus denen jedes Jahr der Holzzylinder vergrößert werde, zusammengedrängt

schon vorher existieren möchten, wie es bei den Schmetterlingen für mehrere Teile vorkomme, die an der Raupe und Puppe noch nicht sichtbar seien. Es begegnet uns also hier schon ein Anklang an die später soviel umstrittene Lehre von der Evolution in der Anlage präexistierender, für die Beobachtung aber noch nicht vorhandener Organe, eine Lehre, die, wie wir sehen werden, zu den ungereimtesten Konsequenzen führte. Sehr wertvoll war es, daß Malpighi den ununterbrochenen Zusammenhang der Gewebeschichten gleich bei der Begründung der Anatomie der Pflanzen erkannte und in solch treffender Weise hervorhob, daß einige seiner zusammenfassenden Ausführungen hier Platz finden mögen: „Die Wurzeln", sagt Malpighi, „sind bei den Bäumen ein Teil des Stammes, welcher sich in der Erde verzweigt und endlich sich in haarfeine Fäden auflöst. Die feinen Röhren, die im Boden getrennt verlaufen, sammeln sich nach und nach zu Bündeln und treten endlich zu einem einzigen großen Zylinder, dem Stamm, zusammen. Dieser streckt dann infolge der wieder eintretenden Trennung der Röhren am anderen Ende seine Äste aus, bis die Röhrenbündel durch immer weitere Teilung in den Blättern ihre letzte Begrenzung finden."

Die ausführliche Darstellung Malpighis ist nur in ihren ersten Abschnitten, die von der Rinde und dem Stamme handeln, anatomischen Inhalts. In den späteren Abschnitten werden morphologische Dinge wie die Knospenlage, die Teile der Blüten, Haare, Stacheln, Ranken usw. beschrieben. Das Hauptinteresse Malpighis wendet sich indessen der Fortpflanzung und ihren Organen zu. Hier zeigt sich besonders sein Bemühen eine Analogie zwischen den tierischen und pflanzlichen Erscheinungen nachzuweisen. Er gelangt zu dem Ergebnis, daß der Samen der Pflanzen ein Ei ist, das den aus den wesentlichen Teilen der Pflanze bestehenden Embryo einschließt und jahrelang entwicklungsfähig bleibt. Unter dem Drucke der eindringenden Feuchtigkeit entfalten sich die Teile, und das Pflänzchen wird zum Keimling. Die Keimblätter haben, wie Malpighi gleichfalls erkannte, die Aufgabe, dem Keimling seine erste Nahrung zu liefern. Borelli bestritt dies; und durch diesen Widerspruch wurde Malpighi dazu veranlaßt, den Keimungsvorgang einiger Pflanzen, wie des Lorbeers und der Dattelpalme, recht genau zu verfolgen und durch Abbildungen zu erläutern. Schon früher hatte er die Keimungsgeschichte von Ricinus verfolgt und durch 20 Abbildungen erläutert. Über den Vorgang der Befruchtung und das Wesen des Blütenstaubs blieb Malpighi

indessen noch völlig im Dunkeln. Staubgefäße und Blütenblätter haben seiner Ansicht nach die Aufgabe eine Art Reinigung und Läuterung des Saftes vorzunehmen, aus dem sich der Samen bilden soll. Die Tatsache, daß sich an jenen Blütenteilen oft Sekrete absondern, deren Bedeutung für den Bestäubungsvorgang Malpighi noch nicht kannte, hat ihn auf jene ganz unzutreffende Ansicht geführt. Ja, er geht soweit, in der Absonderung des Nektars einen Vorgang zu erblicken, welcher der Menstruation der höheren Tiere analog sei. Diese habe nämlich auch die Aufgabe, alle Substanzen, welche das Empfängnisorgan irgendwie beeinträchtigen könnten, fortzuschaffen, damit der Rest des gereinigten Blutes, das im Uterus verbleibe, leichter befruchtet und dem Wesen des Tieres angepaßt werden könne. Man erkennt, auf wie verkehrte Vorstellungen das Bestreben überall Analogien aufzuweisen und darin die Hauptaufgabe der Naturerklärung zu erblicken, führen kann. Es ist darin auch auf späteren Stufen der Wissenschaften oft gefehlt und weit über das Ziel hinausgeschossen worden. Und auch heute spielen die falschen Analogien oft noch eine verhängnisvolle Rolle. Es ist gerade die Geschichte der Wissenschaften, die uns immer wieder zu äußerster Vorsicht in dieser Beziehung mahnt.

Die von Malpighi und Grew begründete Anatomie der Pflanzen wurde zunächst nicht fortentwickelt. Die Physiologen und in noch höherem Grade die Systematiker der nachfolgenden Zeit glaubten dieses Zweiges der botanischen Wissenschaft entraten zu können. Auch erfuhr das Mikroskop zunächst noch nicht diejenige Vervollkommnung, die es zur Aufhellung feinerer anatomischer Einzelheiten befähigt hätte. So kam es, daß der weitere Ausbau des in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts erschlossenen Gebietes erst im Beginn des 19. Jahrhunderts anhub, um dann in rascher Folge zu Ergebnissen zu führen, welche das Gesamtbild der Botanik wesentlich verändert und dazu beigetragen haben, daß sie auf den Rang einer induktiven Wissenschaft erhoben wurde.

Die hervorragendste Entdeckung, welche das 17. Jahrhundert auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie zeitigte, war der Nachweis der Sexualität der Pflanzen. Eine Vorahnung treffen wir schon im Altertum. So berichtet Theophrast über ein beim Feigenbaum angewandtes, als Kaprifikation bezeichnetes Verfahren, das auf die Erzielung besserer Früchte hinausläuft. Man hatte seit alters beobachtet, daß auf der wilden Feige (Caprificus)

eine Gallwespe (Cynips psenes, L.) lebt, durch deren Stich die Früchte an Saft und Zuckergehalt und Größe zunehmen. Aus diesem Grunde hing man angestochene wilde Feigen an die in den Gärten gezogenen Feigenbäume, damit die ausschlüpfenden Insekten deren Früchte in der gleichen günstigen Weise beeinflussen sollten[1]. Theophrast wies darauf hin, daß die Insekten hier nicht den Ansatz der Früchte hervorrufen, sondern nur ihr Reifen befördern. Der Vorgang besaß also mit dem an der Dattelpalme beobachteten[2] eine nur äußerliche Ähnlichkeit.

Die Unterscheidung zwischen männlichen und weiblichen Pflanzen, d. h. in fruchttragende und solche, die keine Früchte hervorbringen, lag zur Zeit des Aristoteles und Theophrast wohl schon im Sprachgebrauch. Auf eine Kenntnis vom Befruchtungsvorgang darf man daraus jedenfalls nicht schließen. Als besondere Arten der Vermehrung berücksichtigte Theophrast auch das Aussetzen von Ablegern, das Pfropfen und das Okulieren, wobei die Pflanze dem Pfropfreis sozusagen als Boden diene[3]. Die Sexualität der Pflanzen auf dem Wege des Versuches sicher nachgewiesen zu haben, ist das Verdienst des Tübinger Professors Camerarius. Rudolf Jakob Camerarius wurde 1665 in Tübingen geboren und starb daselbst 1721. Im Jahre 1688 wurde er Professor und Direktor des botanischen Gartens in Tübingen.

Wenn die Botaniker des 16. und 17. Jahrhunderts von männlichen und weiblichen Pflanzen redeten, so geschah es nur in bildlichem Sinne, um dadurch eine oft nicht verkennbare Verschiedenheit im ganzen Aussehen zu bezeichnen. Caesalpin und Malpighi nahmen an, daß die Entstehung des Samens ein der Knospenbildung entsprechender Vorgang sei. Den Staubgefäßen und den Blumenblättern fiel nach ihrer Meinung die Aufgabe zu, einen Teil der Feuchtigkeit an sich zu ziehen, damit in den übrigen Teilen der Blüte ein umso reinerer Saft zur Bildung des Samens zurück bleibe.

Camerarius ging dagegen von der Beobachtung aus, daß ein nur Früchte tragender Maulbeerbaum, in dessen Nähe sich kein Kätzchen tragendes Exemplar befand, taube, hohle, zur Keimung unfähige Samen hervorbrachte. Er entschloß sich darauf, das Verhältnis, in welchem die verschiedenartig gestalteten Individuen

---

1) Das Verfahren ist noch heute in Gebrauch.

2) Siehe Bd. I dieses Werkes, S. 112.

3) Theophrast, Von den Ursachen der Pflanzen. I, 6.

derselben Pflanzenart zueinander stehen, auf dem einzig Erfolg versprechenden Wege des Versuches zu erkunden. Camerarius wählte dazu eine der gemeinsten zweihäusigen Pflanzen, das jährige Bingelkraut (Mercurialis annua). Bei dieser Pflanze fand er nämlich, daß die einen Stöcke Staubgefäße, die anderen Samen hervorbringen. Brachte er von derselben Pflanze die reifen, keimfähigen Samen in den Boden, so sah er zweierlei Pflanzen aus ihnen hervorgehen, die im allgemeinen einander ähnlich waren und auch gleich benannt werden. Doch bemerkte er, daß die einen nur Staubgefäße tragen und gänzlich ohne Frucht und Samen bleiben, während die anderen Früchte tragen, dafür aber der Blumenblätter und Staubbeutel entbehren. Sonderte er nun die fruchtbringenden Exemplare des Bingelkrauts von den Blütenstaub erzeugenden völlig ab, so entstanden zwar Samen, sie waren aber sämtlich nicht keimfähig. Darauf ging er zu Versuchen mit solchen Pflanzen über, welche Staubgefäß- und Stempelblüten auf demselben Individuum erzeugen. Wurden z. B. bei Ricinus und Mais die ersteren entfernt, bevor die Antheren zur Entwicklung gelangt waren, so erhielt er in keinem Falle reife Samen. Camerarius beschreibt diese Versuche mit folgenden Worten: „Als ich beim Ricinus die runden, Blütenstaub erzeugenden Knospen vor der Entfaltung der Staubbeutel entfernt und das Auftreten neuer derartiger Knospen sorgfältig verhindert hatte, erhielt ich aus den vorhandenen unverletzten Samenanlagen niemals einen vollkommenen Samen, sondern ich sah die tauben Samenhäute herabhängen und schließlich verwelkt und verschrumpft untergehen. Ähnlich verhielt es sich beim Mais. Nachdem ich den Schopf (welcher die Staubgefäßblüten enthält) rechtzeitig abgeschnitten hatte, erschienen zwei Kolben, die gänzlich des Samens entbehrten, so daß eine große Zahl leerer Samenhäute vorhanden war“. „Es erscheint daher gerechtfertigt,“ schließt Camerarius, „den Antheren die Bedeutung von männlichen Geschlechtsorganen beizulegen, in welchen der Same, jenes Pulver nämlich, ausgeschieden wird. Ebenso ist einleuchtend, daß der Fruchtknoten mit seinem Griffel das weibliche Geschlechtsorgan der Pflanze darstellt“[1]).

[1]) Camerarius, De sexu plantarum epistola, datiert vom 25. August 1694. Herausgegeben von J. G. Gmelin, Tübingen 1749. Eine Ausgabe in deutscher Übersetzung veranstaltete M. Möbius. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 105. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1899. Siehe auch Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher, Abschnitt 27.

Camerarius verhehlte sich auch nicht die Schwierigkeiten, die damals noch seiner Theorie anhafteten. So mußten ihm die Schachtelhalme und die Bärlappgewächse als Pflanzen erscheinen, welche Staubbeutel besitzen und dennoch keine Samen erzeugen. Bei diesen Pflanzen, meint Camerarius, sei der männliche Samen reichlich vorhanden. Aber, fährt er fort, es entspricht ihm kein weibliches Geschlecht, denn es fehlen die Griffel, die Samenbehälter, die Samen. Eine Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs brachte erst das 19. Jahrhundert durch die Aufhellung der Keimungsvorgänge der beiden, heute als Equiseten und Lykopodien bezeichneten Pflanzengruppen. Camerarius zieht sich damit aus der ihm sich bietenden Schwierigkeit, daß er die Zugehörigkeit der erwähnten Pflanzengruppen zu den unvollkommenen (kryptogamen) Pflanzen hervorhebt, deren Ursprung und Vermehrung noch dunkel sei.

Mißlungene Versuche mit dem Hanf bringen Camerarius ferner dazu, als erster die Frage aufzuwerfen, ob nicht die Griffel einer Pflanze durch den Pollen einer anderen bestäubt werden könnten, kurz, ob auch im Pflanzenreiche eine Bastardbildung möglich sei. Er erzählt, er habe drei junge Pflanzen des weiblichen Hanf vom Felde in den Garten verpflanzt und darauf geachtet, daß sie von keiner Blüte einer benachbarten männlichen Pflanze ihrer Art bestäubt werden konnten. Trotzdem brachten die weiblichen Hanfpflanzen viele fruchtbare Körner hervor, ein unerwarteter Ausgang, der Camerarius zunächst sehr verdroß, dann aber ihn zu folgender Überlegung veranlaßte. Entweder seien die weiblichen Pflanzen zu spät aus dem Bereiche der männlichen, von denen einige vielleicht schon ihren Staub verstreut hätten, entfernt worden. Es sei aber auch möglich, daß in dem Garten Pflanzen anderer Art, die dort in Menge vorhanden gewesen, die befruchtungsbedürftigen, weiblichen Hanfpflanzen bestäubt hätten. Zweifle doch niemand daran, daß im Tierreich ein Weibchen von dem Männchen einer anderen Art befruchtet werden könne. Neu sei allerdings die schwierige Frage, ob eine weibliche Pflanze von der männlichen einer anderen Art befruchtet werden könne, der weibliche Hanf z. B. von dem männlichen Hopfen. Die Entscheidung dieser Frage, welche der Lehre von der Sexualität der Pflanzen eine wertvolle Stütze verleihen mußte, blieb allerdings einer späteren Generation und einem anderen Forscher vorbehalten[1]. Ließ sich auch die geschlechtliche Differenzierung

[1]) Kölreuter, siehe an späterer Stelle.

der Pflanzen nachweisen, so war eine Einsicht in die Art des Befruchtungsvorganges damit noch nicht gewonnen. Zur Lösung dieser Frage, meint Camerarius, wäre es sehr zu wünschen, daß man von den Mikroskopikern erführe, was die Körnchen der Staubbeutel enthielten, wie weit sie in den weiblichen Apparat eindrängen, ob sie unversehrt an den Ort kämen, wo ihre Vereinigung mit den Samenknospen stattfindet und was dabei aus ihnen austritt.

Die Aufhellung dieser Verhältnisse sollte, wir wir später sehen werden, erst im 19. Jahrhundert gelingen. Camerarius hielt es noch für selbstverständlich, daß in jenem häufigsten Falle, in welchem Staubgefäße und Stempel in einer Blüte vereinigt sind, die Befruchtung zwischen diesen, nahe benachbarten Teilen stattfinde, während doch in der Tat die Natur, wie spätere Untersuchungen dargetan haben, alle erdenklichen Veranstaltungen trifft, um eine Selbstbefruchtung der Zwitterblüten zu verhindern. Einen der Vereinigung der Geschlechter in diesen Blüten entsprechenden Hermaphroditismus hatte der zur Zeit des Camerarius lebende Swammerdam im Tierreich, und zwar an den Schnecken, aufgefunden. Camerarius erwähnt diese Beobachtung und bemerkt dazu, daß dieser Fall, der im Tierreich eine Seltenheit bedeute, bei den Pflanzen eben die Regel sei. Gleichzeitig wundert er sich darüber, daß die Schnecken sich nicht selbst befruchten, während dies doch, wie er annimmt, bei den Pflanzen der Fall sei.

Den Schluß der Schrift des Camerarius bildet eine, mit Goethes Metamorphose der Pflanze in Parallele zu stellende, lateinische Ode, deren Verfasser nicht bekannt ist. Sie enthält die Grundzüge der neuen Lehre und schließt mit den Worten:

Bestätigt seh'n wir jetzt mit Verwunderung
Für Tier' und Pflanzen gleiche Geschlechtlichkeit!
Was lebt, was Nachkommen hervorbringt,
Alles entsteht auf dieselbe Weise.

O mächt'ge Kraft des Geistes, die Du entdeckt
Zuerst so Großes, was durch Jahrhunderte
Verborgen war; wer der Natur sich
Weihte, ihn möge Dein Ruhm begeistern.

O hehre Allmacht, die Du die Welt erschufst,
Du sorgst, die Ordnung, welche Du eingesetzt,

In der Natur stets zu erhalten,
Liebst zu verjüngen die alte Schöpfung.

Linné, der bald darauf die Systematik durch die Errichtung seines auf die Sexualität gegründeten Systems zu einem vorläufigen Abschluß brachte, fußte, was diese Grundlage anbetraf, wesentlich auf Camerarius, wenn dessen Lehre durch ihn auch keine nennenswerte Fortbildung erfuhr. Letzteres geschah erst durch die Untersuchungen Kölreuters, die späterer Besprechung vorbehalten bleiben.

17. Der weitere Ausbau der Mechanik, Optik und Akustik.

Die von Galilei, Newton und gleichstrebenden Geistern ausgeübte Methode, welche durch die Verknüpfung des Versuchs mit dem mathematischen Beweisverfahren zur Auffindung der Naturgesetze führt, blieb während des 18. Jahrhunderts, wie zur Zeit ihrer Schöpfer, im wesentlichen auf die Astronomie und die Mechanik beschränkt. Auch galt es, während dieses Zeitraumes die von Newton[1]) und Leibniz[2]) ins Leben gerufene höhere Analysis zur Bewältigung derjenigen großen Aufgaben geeignet zu machen, die zunächst auf den Gebieten der Astronomie, der Optik und Akustik einer Lösung harrten.

Daß die höhere Mathematik im Verlauf des 18. Jahrhunderts zu dem „Riesenschwerte" des Astronomen und Physikers und später des modernen Naturforschers überhaupt wurde, ist vor allem den Bernoullis und Leonhard Euler zu verdanken. Jacob Bernoulli ist auch als der wichtigste Autor auf den Gebieten der Kombinationslehre und der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu nennen, als deren Begründer wir Fermat und Pascal kennen gelernt haben[3]). Jacob Bernoulli beschäftigte sich mit diesen Gegenständen seit etwa 1680. Sein großes Werk, in welchem er die eigenen und die Forschungen anderer Mathematiker über Kombinatorik und Wahrscheinlichkeitsrechnung zusammenfaßte, erschien

---

[1]) Newton, Abhandlung über die Quadratur der Kurven (1704). Aus dem Lateinischen übersetzt von G. Kowalewski. Band 164 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1908.

[2]) Leibniz, Über die Analysis des Unendlichen. Aus dem Lateinischen übersetzt von G. Kowalewski. Band 162 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1908.

[3]) Siehe S. 147.

jedoch erst einige Jahrzehnte später[1]). Es enthält auf dem Gebiete der ersteren, und zwar in der noch heute üblichen Form, so ziemlich alles, was den Bestand dieser Disziplin ausmacht[2]). Bei weitem der wichtigste Abschnitt des Werkes ist der letzte[3]). Bernoulli stellt sich darin die Aufgabe, die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf „bürgerliche, sittliche und wirtschaftliche Verhältnisse“ anzuwenden. Im Hinblick auf die ganz neuen Bahnen, welche damit diesem Zweige der Mathematik gewiesen werden, ist es doppelt bedauerlich, daß dieser Abschnitt unvollendet geblieben ist. Die Wahrscheinlichkeit wird als ein Grad der Gewißheit erklärt, der sich von der Gewißheit selbst wie ein Teil vom Ganzen unterscheidet. Besteht die absolute Gewißheit (a oder 1) aus 5 Wahrscheinlichkeiten (oder Teilen), von denen 3 für das Eintreten eines Ereignisses und zwei dagegen sprechen, so besitzt das Ereignis $\frac{3}{5}$ a oder $\frac{3}{5}$ der Gewißheit.

Die Untersuchung gipfelt in dem Bernoullischen Theorem[4]), das man auch das Gesetz der großen Zahlen genannt hat. Das Theorem betrifft die Frage, ob durch Vermehrung der Beobachtungen oder durch fortgesetzte Häufung der Einzelfälle die Wahrscheinlichkeit dafür wächst, daß die Zahl der günstigen zur Zahl der ungünstigen Fälle schließlich das wahre Verhältnis erreicht. Bernoulli formuliert das Problem und bejaht es auf Grund eines mathematischen Beweisverfahrens. Sehr treffend bemerkt er, die Aufgabe habe sozusagen ihre Asymptote, indem ein bestimmter Grad von Wahrscheinlichkeit, das wahre Verhältnis der Fälle gefunden zu haben, auch bei beliebiger Vermehrung der Beobachtungen nicht überschritten werden könne.

Als Beispiel wählt Bernoulli eine zugedeckte Urne, in der sich ohne unser Vorwissen 3000 weiße und 2000 schwarze Steine befinden. Durch häufiges Ziehen und jedesmaliges Zurücklegen der Steinchen wird man mit immer größerer, schließlich an Gewißheit grenzender Wahrscheinlichkeit das Verhältnis 3 : 2 ermitteln können, indem dieser Wert mit der Häufung der Fälle in immer engere Grenzen eingeschlossen wird. Wir sind daher, sagt Bernoulli,

---

1) Ars conjectandi (Wahrscheinlichkeitsrechnung) von Jakob Bernoulli. Basel 1713. Als 107. und 108. Bd. von Ostwalds Klassikern in deutscher Übersetzung herausgegeben von R. Haussner. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann. 1899.

2) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. II. 354.

3) Ostwalds Klassiker Nr. 108. S. 71 u. f.

4) Ostwalds Klassiker Nr. 108. S. 104.

gezwungen, bei allen Geschehnissen eine gewisse Notwendigkeit anzuerkennen. Würde man nämlich alle Ereignisse durch alle Ewigkeit hindurch beobachten, so würde schließlich die Wahrscheinlichkeit in volle Gewißheit übergehen. Man müsse also bei noch so zufällig erscheinenden Dingen doch eine Notwendigkeit annehmen und zu dem Schlusse kommen, daß alles in der Welt in bestimmter Gleichmäßigkeit vor sich gehe. Durch Johann und Jacob Bernoulli wurde die Aufmerksamkeit der Mathematiker wieder vorzugsweise auf die Maxima- und Minimaaufgaben gelenkt und durch die Behandlung der sogenannten isoperimetrischen Probleme ein Grund geschaffen, auf welchem später Euler, Lagrange und andere große Mathematiker die Variationsrechnung errichteten.

Die isoperimetrischen Probleme handeln von Kurven, die gewissen Maxima- und Minimabedingungen genügen. Das älteste dieser Probleme lautet, welche unter allen isoperimetrischen Kurven schließt die größte Fläche ein. Schon das Altertum beantwortete diese Frage dahin, daß die verlangte Kurve der Kreis sei[1]).

Das erste isoperimetrische Problem, mit dem sich Johann Bernoulli beschäftigte, betrifft die Brachistochrone, die Linie des schnellsten Falles[2]). Johann Bernoulli formulierte dies Problem mit folgenden Worten: „Zwei gegebene Punkte, die verschiedenen Abstand vom Erdboden haben und nicht senkrecht übereinander liegen, sollen durch eine Kurve verbunden werden, auf welcher ein beweglicher Körper vom oberen Punkte ausgehend vermöge seiner Schwere in der kürzesten Zeit zum unteren Punkte gelangt“. Nachdem er die Lösung gefunden, forderte er nach damaliger Sitte „die scharfsinnigsten Mathematiker des ganzen Erdkreises“ auf, gleichfalls die Aufgabe zu lösen. Leibniz gelang dies noch am nämlichen Tage, an welchem er davon Kenntnis erhielt. Auch Newton und Jacob Bernoulli fanden übereinstimmend die Lösung, daß die Zykloide die gesuchte Kurve sei. Die Verwunderung war umso größer, als Huygens diese Kurve schon als diejenige erkannt hatte, in welcher die Fallbewegung von allen Punkten aus dieselbe Zeit beansprucht. Er hatte ihr aus diesem Grunde den besonderen Namen „Tautochrone“ beigelegt. So zeige, sagt Jacob Bernoulli in der Bekanntgabe seiner Lösung[3]), eine

[1]) Pappus, V. 2.

[2]) Abhandlungen über Variationsrechnung: Ostwalds Klassiker Nr. 46. S. 3—13. Leipzig, W. Engelmann. 1894.

[3]) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Bd. 46. S. 14—20. Leipzig. W. Engelmann. 1894.

Kurve, die von so vielen Mathematikern untersucht worden sei, daß an ihr nichts mehr zu erforschen übrig schien, plötzlich eine ganz neue Eigenschaft.

Während die beiden älteren Bernoulli in erster Linie auf den geschaffenen Grundlagen das Gebäude der Differential- und Integralrechnung errichteten, sehen wir Daniel Bernoulli vorzugsweise damit beschäftigt, schwierige mechanische Probleme, bei denen die von Huygens und selbst noch von Newton in seinen „Prinzipien" befolgte geometrische Methode keine Aussicht auf Erfolg bot, vermöge des neuen Hilfsmittels zu bewältigen[1]). Daniel Bernoulli ist daher als der Hauptbegründer desjenigen Wissenszweiges zu nennen, den man als mathematische Physik bezeichnet. Er führte in die Mechanik das Prinzip von der Erhaltung der Kraft ein, das schon Huygens bei seinen Untersuchungen über das zusammengesetzte Pendel vorschwebte, und brachte dies Prinzip bei seinen Arbeiten über die Bewegung flüssiger Körper überall zur folgerichtigen Durchführung (Hydrodynamik 1738[2]). Huygens hatte es dahin ausgesprochen, daß ein frei fallender Körper, wenn man seine Bewegungsrichtung ändert, nur bis zur ursprünglichen Höhe wieder emporsteigen kann, da die Wirkung der Ursache gleichwertig sei. Aus diesem Grunde hatte Huygens auch die Möglichkeit eines Perpetuum mobile bestritten. Obgleich Daniel Bernoulli die große Bedeutung des Prinzips von der Erhaltung der Kraft wohl ahnte, blieb es doch dem 19. Jahrhundert vorbehalten, es in seiner Allgemeingültigkeit anzuerkennen und darauf die gesamte Naturlehre zu begründen.

Zu den mechanischen Vorgängen, mit welchen sich das 18. Jahrhundert zu beschäftigen hatte, gehörten auch der Fall und der Wurf. Galilei hatte zwar die Theorie dieser Bewegungen entwickelt und damit für die Mechanik eine neue Ära eröffnet. Er hatte jedoch von einem sehr wesentlichen Faktor, dem Luftwiderstande, abgesehen, nicht etwa weil er die Wichtigkeit dieses Faktors nicht kannte, sondern weil sich Galilei die erwähnte Beschränkung noch auferlegen mußte.

Ein Gesetz für den Widerstand, den Flüssigkeiten und Gase auf bewegte Körper ausüben, stellte zuerst Newton auf. Er gelangte zu der Annahme, daß der Widerstand des Mediums für ein

---

[1]) Jacob Bernoulli (1654—1705), Johann Bernoulli (1667—1748), Bruder des vorigen. Daniel Bernoulli (1700—1802), Sohn von Johann B.

[2]) Hydrodynamica seu de viribus et motibus fluidorum commentarii 1738.

und denselben Körper dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sei. Auf Newtons Veranlassung wurden Versuche angestellt, um dies Gesetz zu prüfen. Es erwies sich für mittlere Geschwindigkeiten auch als gültig.

Die Bahn, die ein geworfener Körper unter dem Einfluß des Luftwiderstandes beschreibt, suchte zuerst Johann Bernoulli zu bestimmen. Es ergab sich jedoch, daß die mathematische Analyse zur Bewältigung dieser Aufgabe nicht imstande war und daß eine angenäherte Lösung des ballistischen Problems sich nur durch die Vereinigung von Versuch und Rechnung erhoffen ließ. Am erfolgreichsten in dieser Richtung war die Arbeit von Robins[1]), welche Euler unter dem Titel „Neue Grundsätze der Artillerie“[2]) in deutscher Sprache herausgab. Robins zeigte, daß Newtons Gesetz nur für geringe Geschwindigkeiten gilt, daß aber mit größeren Geschwindigkeiten der Widerstand weit stärker wächst, als jenes Gesetz angibt. Um die Geschwindigkeit des Geschosses in irgend einem Punkte der Wurfbahn bestimmen zu können, konstruierte er sein „ballistisches Pendel“. Ein Körper von bedeutendem Gewicht wurde so aufgehängt, daß er pendeln konnte. Schoß man eine Kugel gegen diesen Körper, so ließ sich aus dem Gewicht, den Dimensionen und dem Ausschlag dieses Pendels die Geschwindigkeit der Kugel nach den Stoßgesetzen berechnen. Nach dem Stoß besitzen nämlich das Pendel, dessen Masse M und die Kugel, deren Masse m und deren Geschwindigkeit im Augenblicke des Zusammentreffens v sei, die gleiche Geschwindigkeit V. Nach den Stoßgesetzen ist aber

$$m\,v = (M + m)\,V.$$

Daraus folgt, daß

$$v = \frac{M + m}{m} . V \text{ ist}^{3}).$$

Mit dem Einfluß des Widerstandes, den Gase und Flüssigkeiten der Bewegung entgegensetzen, haben sich die theoretische und die Experimentalphysik seit Bernoulli und Robins immer wieder beschäftigt, ohne indes bei der Kompliziertheit der in Betracht kommenden Umstände bisher zu einem abschließenden Ergebnis zu gelangen.

Fast noch übertroffen wurden die Leistungen Daniel Bernoullis durch diejenigen Eulers. Leonhard Euler wurde am

1) Robins, New Principles of gunnery. London. 1742.
2) Berlin, 1745.
3) Diese Formel gilt, wenn wir das Pendel als ein einfaches betrachten.

15. April des Jahres 1707 in Basel geboren und war ein Schüler des daselbst ein Lehramt bekleidenden Johann Bernoulli. Auf die Empfehlung Daniel Bernoullis hin wurde Euler mit 20 Jahren an die Akademie zu Petersburg berufen. Bezeichnend für seine ungewöhnliche mathematische Befähigung ist folgendes Ereignis. Als es galt, gewisse astronomische Tafeln zu berechnen, erklärten die Mathematiker der Akademie, hierzu einer Frist von einigen Monaten zu bedürfen. Euler dagegen erbot sich, jene Tafeln in drei Tagen fertig zu stellen, und hielt auch Wort. Doch hatte er diese Leistung mit dem Verluste eines Auges zu bezahlen, das er infolge einer durch die Überanstrengung herbeigeführten Krankheit einbüßte. Im Jahre 1741 berief Friedrich der Große durch ein aus dem Feldlager stammendes Schreiben Euler an die Preußische Akademie der Wissenschaften. Volle 25 Jahre arbeitete Euler als eine Zierde dieser Gesellschaft in der Residenz der Preußischen Könige an dem Ausbau der neueren Mathematik. Dabei entfaltete der große Mann eine beispiellose Produktivität. Allein in den Jahrbüchern der Berliner Akademie veröffentlichte er 121, zum Teil sehr umfangreiche, Abhandlungen[1]). Nach Maupertuis' Tode leitete Euler die Akademie. Schließlich traten aber Zerwürfnisse ein, welche Euler nach 25jähriger Mitgliedschaft veranlaßten, sein Verhältnis zur Berliner Akademie zu lösen und, einer Aufforderung Katharinas der Zweiten folgend, nach Petersburg zurückzukehren. An seine Stelle trat in die Berliner Akademie als würdiger Nachfolger Lagrange ein. Trotzdem Euler bald darauf völlig erblindete, erlahmte seine wissenschaftliche Tätigkeit nicht. Noch wenige Stunden vor seinem am 7. September 1783 erfolgten Tode, war er damit beschäftigt, die Bewegung des in demselben Jahre erfundenen Luftballons zu berechnen.

Bevor wir uns Eulers Arbeiten auf den Gebieten der mathematischen Physik und der Astronomie zuwenden, haben wir ihn als das, was er in erster Linie war, nämlich als Mathematiker kennen zu lernen. Gibt es doch keinen Zweig der reinen Mathematik, der ihm nicht eine außerordentliche Förderung verdankte. Er war es, der die Bemühungen Vietas zum Abschluß brachte und die Algebra zu einer „internationalen mathematischen Kurz-

1) Die Zahl sämtlicher von Euler veröffentlichten Abhandlungen wird auf 700 veranschlagt. Daneben verfaßte er 45 Bände selbständiger Werke. Eine Ausgabe sämtlicher von Euler herrührenden Schriften würde etwa 2000 Druckbogen umfassen.

schrift" gestaltete[1]. In seiner „Einführung in die Analysis des Unendlichen" vom Jahre 1748[2]) gab er eine umfassende Erörterung der Kurven, welche durch die allgemeine Gleichung zweiten Grades definiert werden. Während er dadurch die analytische Geometrie förderte, verstand er es andererseits den höheren Kalkul von beengenden geometrischen Fesseln loszulösen und ihn zu einer selbständigen Disziplin zu gestalten. Euler vor allem gelang ferner die scharfe Erfassung des Funktionsbegriffes, dem die ersten Kapitel der „Indroductio" gelten, jenes Begriffes, den man wohl zu den wichtigsten Schöpfungen der neueren Mathematik gerechnet hat[3]). Im Anschluß an Bernoullis Untersuchungen über isoperimetrische Probleme erfand Euler als einen besonderen Teil der höheren Analysis die Variationsrechnung.

Während Johann Bernoulli über die isoperimetrischen Probleme sich dahin geäußert hatte, daß man wohl vergebens für ihre Lösung nach einer allgemeinen Methode suchen dürfe, unternahm Euler die ersten Schritte zur Ausbildung einer „Methode, Kurven zu finden, welchen eine Eigenschaft im höchsten oder geringsten Grade zukommt." Eine Auswahl geeigneter Abschnitte der betreffenden umfangreichen Schrift Eulers wurde neuerdings in deutscher Übersetzung veröffentlicht[4]). Ein näheres Eingehen auf den Inhalt des gewöhnlich als „Methodus inveniendi" bezeichneten Hauptwerkes von Euler ist hier nicht am Platze[5]). Bemerkt sei nur, daß die von Euler befolgte Methode wesentlich geometrisch ist, wodurch die Behandlung der einfacheren Probleme sehr klar und durchsichtig wird. Seine Methode hat Euler auch als Variationsrechnung bezeichnet und sie mit folgenden Worten definiert: „Die Variationsrechnung ist die Methode, die Änderung aufzufinden, welche ein aus beliebig vielen Veränderlichen zusammengesetzter Ausdruck erleidet, wenn man entweder alle oder nur einige Variabeln sich ändern läßt"[6]).

---

1) Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. I. S. 127.

2) Introductio in analysin infinitorum.

3) H. Hankel, Die Entwicklung der Mathematik in den letzten Jahrhunderten. S. 15.

4) Durch P. Stäckel im 46. Band von Ostwalds Klassikern. Leipzig. W. Engelmann. 1894. Eulers Werk erschien 1744. Der vollständige Titel lautet: Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti.

5) Eine Inhaltsübersicht gibt Cantor im III. Bande seiner Geschichte der Mathematik. S. 830—840.

6) Leonhard Euler, Vollständige Anleitung zur Integralrechnung. Ausgabe von Salomon. Bd. III. S. 392.

Eine der frühesten Arbeiten Eulers auf dem Gebiete der angewandten Mathematik betrifft die von Newton gegebene Theorie der Gezeiten. Die französische Akademie der Wissenschaften hatte bei der Wichtigkeit des Gegenstandes im Beginn des 18. Jahrhunderts zahlreiche Flutbeobachtungen in den französichen Häfen anstellen lassen. Dabei hatte sich gezeigt, daß man diese Beobachtungen nur zum Teil aus Newtons Theorie erklären konnte. Die Akademie schrieb deshalb im Jahre 1740 Preise über diesen Gegenstand aus. Unter den gekrönten Arbeiten befanden sich auch diejenigen Eulers und Bernoullis Es gelang, auf der von Newton geschaffenen Grundlage, mit Hilfe der höheren Analysis manche Umstände, die bei den Gezeiten mitwirken, in Rechnung zu ziehen, so daß z. B. das Zurückbleiben der Flutwelle hinter der Kulmination des Mondes bestimmt werden konnte.

Auch die Lösung einer zweiten, für die Nautik sehr wichtigen Aufgabe, an der sich Galilei in seinen letzten Lebensjahren vergebens abgemüht hatte, des Problems der Längenbestimmung, blieb Euler vorbehalten. Galilei und das Altertum hatten ihren Berechnungen gewisse astronomische Erscheinungen, wie die Verfinsterungen der Jupitermonde oder die viel seltener vorkommenden Mondfinsternisse, zugrunde gelegt. Schon vor Galilei erfolgten neue Vorschläge, deren Durchführung die endliche Lösung des so lange schwebenden Problems herbeiführen sollte. Da der Mond infolge seiner Bewegung um die Erde seinen Ort rasch ändert, kann der Abstand des Mondes von bestimmten Fixsternen, welcher von Stunde zu Stunde ein anderer ist, zum Vergleich der Ortszeiten und damit zur Längenbestimmung dienen. Es würde dazu nur eine Tabelle erforderlich sein, die für einen bestimmten Ort der Erde die Abstände des Mondes für die einzelnen Tage und Stunden angibt. Wird dann die betreffende Distanz an dem Orte der Beobachtung zu einer anderen Tageszeit gemessen, so läßt sich aus dem Unterschiede der Zeiten der Längenunterschied berechnen[1]). Ein zweites in Vorschlag gebrachtes Verfahren[2]) beruht auf der Anwendung genauer Chronometer, die während der ganzen Dauer der Reise die Zeit desjenigen Ortes angeben, den man zum Ausgangspunkte für die Längenbestimmung gewählt hat. Die Verwirklichung dieser beiden Vorschläge wurde lebhaft

---

1) Diese Methode wurde schon von Apian (1495—1552) in dessen Kosmographie (§ 5) empfohlen.

2) Herrührend von Gemma Frisius (1508—1555).

angestrebt, nachdem im Jahre 1713 das englische Parlament einen Preis von 20000 Pfund für die praktische Lösung des Längenproblems ausgesetzt hatte.

Da die Bewegung des Mondes von den anziehenden Kräften der Erde und der Sonne abhängt, war sie weit schwieriger zu ermitteln als diejenige der Planeten. Noch zur Zeit Newtons betrug der Fehler bei der Vorausbestimmung einer Mondfinsternis mitunter eine Stunde und mehr. Auf Grund der Berechnungen Eulers[1]) und eigener Beobachtungen brachte der Astronom Tobias Mayer[2]) in Göttingen um die Mitte des 18. Jahrhunderts Mondtafeln zu Wege, die für Längenbestimmungen genügten. Die Witwe Mayers, sowie auch Euler erhielten daher einen Teil des Preises.

Ein hinlänglich genau gehendes Chronometer lieferte im Jahre 1758 der Uhrmacher John Harrison. Dieses wies nach einer vier Monate dauernden Fahrt einen Fehler von nur etwa zwei Minuten auf. Durch fortgesetzte Bemühungen wurde dieser Fehler noch weiter herabgemindert, worauf Harrison die Hälfte der vom Parlamente ausgesetzten Summe erhielt. Um die Länge des Pendels dem Einfluß der Temperaturschwankungen zu entziehen, verfertigte Harrison nach dem Vorgange Grahams Rost- oder Kompensationspendel, indem er Metalle von verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten, wie Messing und Eisen, vereinigte. Graham (1675—1751) hatte zu diesem Zwecke die sogenannte Quecksilberkompensation erfunden (1722).

Verwickelte, nur mit Hilfe der höheren Analysis zu lösende Probleme boten die Schallerscheinungen dar. Euler untersuchte die Schwingungen von Saiten und Stäben und bestimmte die Grenzen der Hörbarkeit, welche seinen Versuchen gemäß annähernd mit den Schwingungszahlen 20 und 7000 zusammenfallen. Überhaupt erwarb sich Euler große Verdienste um eine wissenschaftliche Behandlung der Musik.

Infolge der Zurückführung der akustischen Vorgänge auf die Schwingungen elastischer Körper und Medien mußte sich dem schon von Huygens unternommenen Versuch, die Lichtphänomene auf dieselben Prinzipien zurückzuführen, eine Aussicht auf Erfolg darbieten. So sehen wir denn Euler eifrig bemüht, die Analogie der Schall- und Lichterscheinungen darzutun. Nachdem er alle Schwächen

[1]) Novae et correctae tabulae ad loca Lunae computanda. Berlin 1746.
[2]) Novae tabulae motuum Solis et Lunae. 1752.

der Emanationstheorie Newtons, die er für geradezu vernunftwidrig erklärte, nachgewiesen, entwickelte er seine eigenen Ansichten vom Äther und vom Licht. Euler geht, wie vor ihm Huygens, von der Annahme aus, daß der Raum zwischen den Himmelskörpern mit einer äußerst feinen Materie, dem Äther, erfüllt sei. Letzterer sei eine Flüssigkeit wie die Luft, aber unvergleichlich viel kleiner und verteilter, da die Himmelskörper ihn ungehindert durchschneiden, ohne in ihm einen merklichen Widerstand zu finden. Ferner besitze der Äther das Vermögen, sich nach allen Richtungen auszubreiten und jeden leeren Raum auszufüllen. Infolgedessen finde sich der Äther nicht nur in den höheren Regionen, sondern er durchdringe die Atmosphäre vollständig und dringe auch in die Zwischenräume aller irdischen Körper ein, so daß er durch diese ungehindert hindurchgehe.

Da die Luft durch ähnliche Eigenschaften geeignet sei, die Erzitterungen der tönenden Körper aufzunehmen und sie nach allen Richtungen fortzupflanzen, worin ja der Schall bestehe, so sei es sehr natürlich, daß der Äther unter ähnlichen Umständen Erschütterungen empfangen und sie nach allen Richtungen und auf viel größere Entfernungen vermitteln werde. Diese Erzitterungen des Äthers bewirken nach Euler das Licht. Letzteres sei rücksichtlich des Äthers dasselbe, was der Schall in Beziehung zur Luft bedeute. In Wirklichkeit komme also nichts von der Sonne zu uns, ebensowenig wie von einer Glocke, wenn ihr Geläut unser Ohr trifft. Man brauche daher auch nicht zu befürchten, daß die Sonne, indem sie Licht spendet, die geringste Einbuße an Substanz erleide. Den scheinbaren Widerspruch, der darin liegt, daß die irdischen Lichtquellen sich doch augenscheinlich verzehren, erklärt Euler ganz richtig daraus, daß diese Lichtquellen nicht nur leuchten, sondern auch Rauch und Ausdünstungen abgeben, die man von den Lichtstrahlen wohl unterscheiden müsse. Könnte man, sagt Euler, diesen Rauch und diese Ausdünstungen aufheben, so würde das bloße Leuchten keine Verminderung mit sich bringen. Als Beweis dafür führt er die Erscheinung an, daß Quecksilber, das man in einer evakuierten Röhre schüttle, in den leuchtenden Zustand versetzt werde, ohne an Substanz einzubüßen. Trotz aller Klarheit, mit welcher er seine Anschauungen über die Natur des Lichtes in den Briefen an eine deutsche Prinzessin[1])

[1]) Siehe Dannemann, „Aus der Werkstatt", Abschnitt 34.

vorträgt, sowie seiner in den Denkschriften der Berliner Akademie gegebenen wissenschaftlichen Begründung dieser Anschauungen blieb die von Newton herrührende Emanationstheorie unerschüttert. Was dem bloßen, gleichfalls von einem theoretischen Standpunkte aus erfolgenden Bekämpfen einer irrigen Hypothese nicht gelang, hat die spätere Entdeckung neuer Tatsachen sofort ermöglicht. Solchen gegenüber konnte eine Hypothese, die sich nicht mit ihnen in Einklang bringen ließ, keinen Stand halten.

Auch um die Berichtigung eines anderen Irrtums Newtons machte Euler sich verdient. Ersterer hatte die Beseitigung der chromatischen Abweichung für unmöglich erklärt, da die Brechung des Lichtes stets mit einer Farbenzerstreuung verbunden sei. Infolgedessen hielt man die Vervollkommnung der dioptrischen Fernröhre für ausgeschlossen und wandte sich gleich Newton vorzugsweise der Verfertigung von Spiegelteleskopen zu, die gegen das Ende des 18. Jahrhunderts durch Wilhelm Herschel einen hohen Grad der Vollendung erreichten. Der Ansicht Newtons gegenüber wies nun Euler im Jahre 1747 darauf hin, daß im Baue unseres Auges das von Newton für unlösbar gehaltene Problem tatsächlich gelöst sei, da die auf der Netzhaut erzeugten Bilder den Fehler der chromatischen Abweichung doch nicht besitzen. Weil nun beim Auge in verschiedenem Grade brechende Medien, wie die Substanz der Hornhaut, die Linse und der Glaskörper, bei der Bilderzeugung zusammenwirken, kam so Euler auf den Gedanken, mit dem Glase einen zweiten Stoff in entsprechender Weise zu verbinden, um die Farbenzerstreuung zu beseitigen. Euler suchte dieses zu erreichen, indem er seine Objektivgläser, wie es die nebenstehende Abbildung 108 erläutert, aus Glas und Wasser zusammensetzte. Dies Verfahren bot zwar in der Ausführung Schwierigkeiten, zeigte aber immerhin die Richtigkeit der Eulerschen Folgerungen, da die Bilder, wenn sie auch nicht die gewünschte Schärfe besaßen, doch frei von dem gedachten Fehler waren.

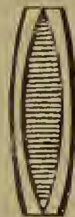


Abb. 108.
Eulers aus Glas und Wasser zusammengesetztes Objektivglas[1]).

Angeregt durch diese Untersuchung Eulers, kam zehn Jahre später der Optiker Dollond[2]) auf den Gedanken, anstatt Glas

[1]) Eulers Briefe an eine deutsche Prinzessin. Leipzig 1773. Bd. III. Abb. auf S. 299.

[2]) Geboren 1706 in der Nähe von London.

und Wasser zwei Glassorten von ungleichem Brechungsvermögen zu wählen. Zunächst verfertigte er Kron- und Flintglasprismen von verschiedenen Brechungswinkeln. Beim Prüfen dieser Prismen ergaben sich Zusammenstellungen, bei denen der hindurchgegangene Strahl keine Farbenzerstreuung mehr aufwies und doch noch, wenn auch in geringerem Grade, gebrochen wurde. Nachdem sich auf solche Weise der Gedanke als durchführbar erwiesen, ging Dollond zu seiner praktischen Verwertung über. Er setzte Linsen aus zwei Stücken zusammen, von denen das eine aus Kron-, das andere aus Flintglas bestand. Auch hierbei wurde die zweckmäßigste Vereinigung durch Ausprobieren bewerkstelligt. Damit war das achromatische Fernrohr erfunden, welches durch Dollonds Sohn und insbesondere im Beginn des 19. Jahrhunderts durch Joseph Fraunhofer einen solchen Grad der Vollendung erhielt, daß der während des 18. Jahrhunderts herrschende Reflektor das Feld räumen mußte.

Der Weg zu der dem 18. Jahrhundert gelungenen, vorläufig abschließenden Gestaltung der Mechanik führt von den Bernoullis und Euler über d'Alembert zu Lagrange, dem großen Analytiker, dem jener Abschluß vorbehalten blieb. Die durch Euler repräsentierte, ältere Generation begnügte sich mit der Lösung zahlreicher, isolierter Aufgaben aus allen Teilen der angewandten Mathematik. Für jedes Problem mußte man daher einen neuen Weg, für jede Aufgabe besondere Kunstgriffe suchen, so daß nur die hervorragendsten Talente auf dem Gebiete der Mechanik sich betätigen konnten. Durch d'Alembert und in noch höherem Grade durch Lagrange wurde dieser Mangel beseitigt, indem sie die allgemeinen Sätze fanden, welche auf ganze Gruppen von mechanischen Aufgaben anwendbar sind. D'Alembert war es, welcher diese „Formgebung" der Mechanik einleitete, während Lagrange sie vollendete[1]. Diese Bedeutung d'Alemberts rechtfertigt es, daß wir nicht nur seinem Hauptwerk, der Traité de dynamique, sondern auch seinem Lebensgang eine kurze Berücksichtigung zuteil werden lassen, zumal seine Beziehungen zu den philosophischen Betrebungen der Aufklärungsperiode von besonderem Interesse sind.

D'Alemberts Lebensumstände waren ganz außergewöhnliche. Zu der Zeit, als in Frankreich der berüchtigte Herzog von Orleans die Regentschaft führte, fand man auf den Stufen einer Kirche

[1]) Dühring, Prinzipien der Mechanik. § 162.

ein ausgesetztes Kind, das der Frau des Handwerkers Alembert zum Aufziehen übergeben wurde. Erst als dieses Kind zum Manne geworden, der sich unter dem Namen d'Alembert einen ge chteten Namen geschaffen hatte, wurde der Schleier, der seine Herkunft verbarg, gelüftet. Es stellte sich nämlich heraus, daß seine Mutter eine Frau war, in deren Salon hervorragende Schriftsteller, vornehme Militärs und Kleriker, darunter der spätere Papst Benedikt XIV, verkehrten. Mit 12 Jahren wurde d'Alembert in ein Collège aufgenommen. Er studierte Theologie, die Rechte und Medizin, bis er sich schließlich mit ausgesprochener Neigung der Philosophie und den mathematischen Wissenschaften zuwandte. Infolge seiner Vielseitigkeit und außerordentlichen Begabung gehörte d'Alembert zu den eifrigsten Vertretern der das 18. Jahrhundert kennzeichnenden Aufklärungsperiode. Er war der Mittelpunkt einer Gesellschaft, die sich um eine geistreiche Dame versammelte und später zu dem so bekannt gewordenen Holbachschen Zirkel erweiterte. D'Alembert würdigte gleich der Mehrzahl der französischen Gelehrten neben der Arbeit nichts so sehr als die geistig anregende Unterhaltung, die in den Salons von den Damen der Gesellschaft und des Hofes in Fluß gehalten wurde. Hat doch in keinem Lande die Frau eine so weitgehende Einwirkung auf die Entwicklung der Politik, der Kunst und der Wissenschaft ausgeübt als gerade in Frankreich. Und man kann sagen, daß diese mehr mittelbare Einwirkung der Wissenschaft nicht zum Nachteil gereicht, sondern die französischen Gelehrten in ihrer klaren, leicht verständlichen Ausdrucksweise gefördert hat.

In Gemeinschaft mit Diderot gab d'Alembert eine Enzyklopädie heraus, welche den beiden Männern und ihrem für die Aufklärung wirkenden Anhang den Namen der Enzyklopädisten eintrug. D'Alembert übernahm den mathematischen Teil dieses Werkes, das in alphabetischer Folge alle bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts erworbenen Kenntnisse übermitteln sollte. Der Mathematik und den Naturwissenschaften wurde der erste Platz eingeräumt und betont, daß auf die alten Sprachen und die Altertumswissenschaft nicht viel Gewicht zu legen sei. Schoß man auch über das Ziel hinaus, so machte sich hierin doch eine gesunde Reaktion gegen die Überschätzung geltend, welche die „Humaniora" als Bestandteile der allgemeinen Bildung genossen haben und sehr häufig auch heute noch beanspruchen. Zu weit ging d'Alembert besonders darin, daß er das Verdienst der Alten um die Entwick-

lung der Mathematik und der Naturwissenschaften sehr gering einschätzte.

D'Alembert war Mitglied der Pariser und der Berliner Akademie der Wissenschaften. Den glänzenden Verlockungen, durch welche ihn Friedrich der Große und Katharina II. an sich zu fesseln suchten, widerstand er. Er blieb in Frankreich und starb dort im Jahre 1783.

Seine grundlegende „Abhandlung über Dynamik" veröffentlichte d'Alembert im Alter von 26 Jahren (1743)[1]. Sie bedeutet einen Markstein in der Entwicklung der Mechanik, weil sie für die Bewegung der Körper ein ebenso einfaches Grundprinzip aufstellte, wie man es für das Gleichgewicht in dem Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten besaß.

Die Ableitung des d'Alembertschen Prinzips geht auf das Problem des zusammengesetzten Pendels zurück. Offenbar ist ein solches nichts anderes als ein Hebel, der sich in Bewegung befindet. An einem solchen werden die auf jeden Massenpunkt wirkenden Kräfte bekanntlich in zwei Bestandteile zerlegt, von welchen die einen sich gegenseitig aufheben, zur Bewegung also nicht beitragen, während die anderen im Gegensatz zu jenen „verlorenen", sich das Gleichgewicht haltenden Kräften dem System die Bewegung erteilen. Derjenige Massenpunkt, an welchem weder Verlust noch Gewinn stattfindet, ist der uns aus früheren Betrachtungen bekannte Schwingungsmittelpunkt. Auch d'Alembert behandelt als typischen Fall für sein Prinzip eine an einem Ende befestigte und im übrigen mit verschiedenen Körpern beschwerte Stange, also ein System, das sich gleichfalls als ein zusammengesetztes Pendel oder ein in Bewegung begriffener Hebel betrachten läßt. Dann zerlegt er, wie es schon vor ihm Jakob Bernoulli bei der Untersuchung des zusammengesetzten Pendels getan, die wirkenden Kräfte in diejenigen, welche im Gleichgewicht sein müssen, und in diejenigen, welche die Bewegung hervorrufen. In dieser Art der Betrachtung liegt das Wesen von d'Alemberts Prinzip, das in seiner allgemeinen Fassung folgendermaßen lautet: Werden einem System von materiellen Punkten oder Körpern Bewegungen mitgeteilt, die infolge der wechselseitigen Verbindung der Punkte oder Körper eine Abänderung erfahren, so findet man die resultierenden Bewegungen

---

[1]) Abhandlung über Dynamik (Traité de Dynamique) von d'Alembert. Übersetzt und als Bd. 106 von Ostwalds Klassikern herausgegeben von A. Korn. Leipzig, W. Engelmann. 1899.

auf folgende Weise: Man zerlege die jedem Körper mitgeteilten Bewegungen in je zwei andere a, α; b, β; c γ .... derart, daß die Körper, wenn man ihnen nur die Bewegungen a, b, c beigelegt hätte, diese Bewegungen, ohne sich gegenseitig zu hindern, hätten bewahren können; und daß, wenn man ihnen nur die Bewegungen α β γ ... eingeprägt hätte, das System in Ruhe geblieben wäre, dann werden a, b, c ... die Bewegungen sein, welche diese Körper infolge ihrer Wechselwirkung annehmen werden.

Zahlreiche Anwendungen seines Prinzips hat d'Alembert im dritten Abschnitt seiner Abhandlung geboten[1]). Ferner gelang es ihm die Theorie der Bewegung der Flüssigkeiten auf sein Prinzip zurückzuführen[2]). D'Alembert huldigte der zu seiner Zeit verbreiteten Ansicht, daß die Prinzipien der Mechanik beweisbar seien. Die Scheinbeweise, die er bringt, laufen indessen nur darauf hinauf, daß der behauptete Satz wahr sei, weil für das Gegenteil kein genügender Grund vorliege. Ein Zweifel hinsichtlich des Wesens der mechanischen Prinzipien spricht sich indessen schon in der zu jener Zeit gestellten Preisfrage der Berliner Akademie aus, „ob die Gesetze von notwendiger oder nur erfahrungsmäßiger Wahrheit seien". Diese Frage kann man als im letzteren Sinne entschieden betrachten. D'Alemberts Satz z. B. führt offenbar die Aufgaben der Dynamik auf Gleichgewichtsuntersuchungen und die dabei gewonnenen Erfahrungen zurück. Der Satz macht die Erfahrung nicht etwa überflüssig. Er hat den „Wert einer Schablone" zur bequemen Lösung von Aufgaben. Er fördert „nicht so sehr das Durchblicken der Vorgänge als ihre praktische Bewältigung"[3]).

Bevor wir näher auf die weitere Entwicklung der Physik eingehen, wollen wir uns mit dem Manne beschäftigen, welcher an Eulers Stelle trat und das Werk dieses Meisters fortgeführt hat. Es war dies Lagrange. Ihm und Euler ist es gelungen, anstatt des synthetischen Verfahrens früherer Jahrhunderte in allen Zweigen der reinen und der angewandten Mathematik, das rechnerische, analytische Verfahren zur Durchführung zu bringen.

[1]) Ostwalds Klassiker, Bd. 106. S. 71 u. f.

[2]) D'Alembert, Traité de l'équilibre et du mouvement des fluids. Paris. 1744.

[3]) E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 1883. S. 335.

Lagrange ist sowohl in amtlicher als in wissenschaftlicher Beziehung als der Nachfolger Eulers zu bezeichnen. Er trat nämlich nach dem Fortgange Eulers (1766) in die Preußische Akademie der Wissenschaften ein und wirkte bis zum Tode Friedrichs des Großen (1786) in Berlin. Ein besserer Ersatz für Euler war nicht zu finden. An Bedeutung für die weitere Entwicklung der Mechanik trat Lagrange nämlich gegen Euler nicht zurück, so daß die Preußische Akademie sich rühmen kann, fast ein halbes Jahrhundert die beiden größten Meister dieser Wissenschaften zu den Ihren gezählt zu haben.

Wie sehr die staatliche Fürsorge die Entwicklung der Wissenschaften mitunter beeinflußt hat, das zeigt vor allem das Preußen Friedrichs des Großen. Unter dem rauhen, jedes wissenschaftlichen Sinnes baren Vater dieses Monarchen hatte die Preußische Akademie, in der sich während des 18. Jahrhunderts das regste geistige Leben verkörperte, ein geradezu klägliches Dasein gefristet. Der König hatte für die Gelehrten seines Staates kaum etwas anderes übrig als Spott. Der kulturelle und der politische Fortschritt Preußens wären unterblieben, wenn die Wissenschaften dort auch weiterhin eine so geringe Beachtung gefunden hätten wie zur Zeit Friedrich Wilhelms des Ersten. Was dieser versäumte, hat jedoch sein großer Sohn vollauf wieder ausgeglichen. Und zwar vollbrachte er dies nicht nur durch äußere Mittel, sondern vor allem durch die persönliche Anteilnahme und das stete Wohlwollen, das er den Wissenschaften und ihren Vertretern entgegenbrachte, sowie durch den Schutz, den er ihnen allen reaktionären Strömungen gegenüber bot. Wenn man sich die Entdeckungen und die Arbeiten vergegenwärtigt, welche die Mathematiker, Astronomen, Physiker, Chemiker, Anatomen und Botaniker der Preußischen Akademie während der Fridericianischen Zeit geleistet haben, so muß man dem Historiker[1]) dieser Akademie darin Recht geben, daß sie in Hinsicht auf die Naturwissenschaften zu jener Zeit von keiner anderen Akademie übertroffen worden sei. Doch kehren wir zu ihrem Mitgliede Lagrange zurück.

Joseph Louis Lagrange wurde am 25. Januar 1736 in Turin geboren. Sein Vater stammte aus Frankreich; er geriet in Turin in solch mißliche Verhältnisse, daß der junge Lagrange, der Jüngste unter elf Geschwistern, frühzeitig auf seine eigene

[1]) Harnack, Geschichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften.

Kraft angewiesen war. Lagrange hat diesen Umstand später oft als ein Glück bezeichnet. Er meinte, hätte er Vermögen gehabt, so würde er die Mathematik nicht geliebt, vielleicht nicht einmal kennen gelernt haben. So sehen wir ihn, kaum 19 Jahre alt, bereits als Lehrer der Mathematik an der Artillerieschule unterrichten, wo er jünger als ein Teil seiner Schüler war. Mit Euler und d'Alembert wurde Lagrange dadurch bekannt, daß er sich gleich den genannten großen Mathematikern mit dem damals so viel erörterten Problem der Saitenschwingungen befaßte. Zu einer Berühmtheit wurde Lagrange, als er mit 28 Jahren (1764) den großen mathematischen Preis der Pariser Akademie für seine Arbeit über die Libration des Mondes erhielt. Bei dieser Untersuchung hat er zum ersten Male das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten, das er an die Spitze der analytischen Mechanik stellte, angewandt. Nach Berlin war Lagrange durch Vermittlung d'Alemberts gekommen, den Friedrich der Große zunächst und zwar vergeblich um die Übernahme der bisher von Euler verwalteten Stelle zu gewinnen suchte. Nach dem Tode des großen Königs wurde Lagrange der Aufenthalt in Berlin durch einen der Minister aber derartig verleidet, daß er nach Paris zurückkehrte, wo ihm durch Vermittlung der Königin freie Wohnung im Louvre angewiesen wurde. In Paris veröffentlichte Lagrange im Jahre 1788 sein Hauptwerk, die Mécanique analytique. Da Lagrange im öffentlichen Leben nur wenig hervortrat, wurde er durch die Wirren der Revolutionszeit auch nur wenig behelligt. Er wirkte während dieses Zeitabschnittes an der École Polytechnique und war auch in der Kommission tätig, die 1792 mit der Festsetzung eines neuen Maßsystems beauftragt wurde. Napoleon, der größte Förderer der exakten Wissenschaften, den die Geschichte kennt, überhäufte ihn mit Ehren und nannte ihn, halb im Scherz, halb aus Bewunderung, „La haute pyramide des sciences mathématiques“. Lagrange starb am 10. April des Jahres 1813 und wurde im Pantheon bestattet. Seine Bedeutung hat Laplace in einem Nachruf mit folgenden Worten gekennzeichnet: „Lagrange hat gleich Newton in höchstem Maße die glückliche Kunst besessen, die allgemeinen Prinzipien zu entdecken, die das Wesen der Wissenschaft ausmachen. Diese Kunst verstand er mit einer seltenen Eleganz in der Entwicklung der abstraktesten Theorien zu verbinden.“

Wir beschäftigen uns zunächst mit dem Anteil, den Lagrange an der Entwicklung der reinen Mathematik genommen hat. Auf

diesem Gebiete setzte er die Arbeit der Bernoulli und Eulers fort. Nur erwähnt seien Lagranges Zusätze zu Eulers Elementen der Algebra. Sie beziehen sich auf das Gebiet der unbestimmten oder diophantischen Analysis, dem Euler den letzten Teil seines Werkes gewidmet hat. Diese Untersuchungen gehören der reinen Mathematik an und stehen mit der Entwicklung der Naturwissenschaften in einem nur lockeren Zusammenhange. Sie haben aber in der neuesten Zeit die Grundlage für die Theorie der algebraischen Zahlen gebildet und sind aus diesem Grunde vor kurzen durch eine deutsche Übersetzung zugänglicher gemacht worden [1]).

Mit den unbestimmten Gleichungen befaßt sich Lagrange auch in einer für dieses Gebiet grundlegenden Abhandlung vom Jahre 1768 [2]), in welcher er die Aufgabe bewältigt, alle unbestimmten Gleichungen zweiten Grades mit zwei Unbekannten durch ganze Zahlen zu lösen. Der Versuch, solche Gleichungen zu lösen, reicht weit in der Geschichte der Mathematik zurück. Fermat gelang die Lösung, doch hat er sein Verfahren nicht bekannt gegeben. Es blieb daher Lagrange vorbehalten, ein allgemeines Verfahren zu entwickeln und zu beweisen, daß jene Gleichungen stets in ganzen Zahlen lösbar sind. Da sich nun jede Gleichung zweiten Grades mit zwei Unbekannten auf die einfache Form $A = x^2 + B y^2$ bringen läßt, so war das Problem in seiner Allgemeinheit gelöst.

Gleichfalls an Euler anknüpfend hat Lagrange ferner die Theorie der partiellen Differentialgleichungen mitbegründen helfen. Wird eine Gleichung $y = f(x)$ differenziert, so läßt sich aus der entstandenen Differentialgleichung durch Integration die ursprüngliche Gleichung wiederherstellen. Eine solche Integration ist jedoch nicht für jede beliebige Differentialgleichung möglich. Es galt daher ein Kennzeichen für die Integrierbarkeit einer Differentialgleichung zu finden, und diese Aufgabe löste Euler für solche Gleichungen erster Ordnung schon 1734. Später dehnte er mit Erfolg diese Untersuchung auf Differentialgleichungen höherer Ordnung aus.

---

1) J. L. Lagranges Zusätze zu Eulers Elementen der Algebra. Als 103. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben von A. J. v. Öttingen und H. Weber. Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1898.

2) J. L. Lagrange, Über die Lösung der unbestimmten Probleme zweiten Grades. Aus dem Französischen übersetzt und als 146. Band von Ostwalds Klassikern herausgegeben von Eugen Netto. Leipzig, W. Engelmann. 1904.

Zu einer allgemeinen Theorie für dieses Gebiet ist Euler allerdings nicht gelangt, sondern er beschränkte sich auf die Durchführung zahlreicher besonderer Fälle von Integrationen. Die allgemeine Lösung des Problems blieb Lagrange und den Mathematikern des 19. Jahrhunderts (Pfaff, Cauchy und anderen) vorbehalten.

Die Abhandlungen von Lagrange, welche die Lehre von der Integration der Differentialgleichungen bedeutend förderten, fallen in den Zeitraum von 1772—1785. Seine Untersuchung vom Jahre 1772 „Über die Integration der partiellen Differentialgleichungen erster Ordnung“ wurde vor kurzem in deutscher Übersetzung zugänglich gemacht[1]). Eine vollständige Integrationsmethode für lineare partielle Differentialgleichungen mit beliebig vielen Veränderlichen fand Lagrange indessen erst sieben Jahre später, nachdem er sich dem durch Eulers Untersuchungen gestellten Problem zugewandt hatte.

Mit Lagrange begann auch eine neue Epoche in der Behandlung der Maxima- und Minimaaufgaben. Der Fortschritt bestand darin, daß Lagrange die analytische Bewältigung der hierher gehörigen Probleme ins Auge faßte, während die Bernoulli und Euler vorzugsweise geometrisch verfuhren. Die hierbei befolgte Methode von Lagrange bestand in einer engen Verbindung der Differential- mit der Integralrechnung und wurde von Euler mit dem besonderen Namen der „Variationsrechnung“ belegt. Die grundlegende Abhandlung von Lagrange für diesen Teil der höheren Analysis erschien im Jahre 1762. Sie wurde durch „Ostwalds Klassiker“ in deutscher Übersetzung zugänglich gemacht[2]).

Wie die Isoperimeterprobleme[3]) seit dem Altertum behandelt und insbesondere durch Fermat gefördert wurden, haben wir an früherer Stelle[4]) erfahren. Während des 18. Jahrhunderts waren es zunächst die Bernoulli und Euler, die sich mit diesen

1) Durch G. Kowalewski im 113. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1900.

2) Lagrange, Versuch einer neuen Methode, um die Maxima und Minima unbestimmter Integralformeln zu bestimmen. Im 47. Bande von Ostwalds Klassikern herausgegeben von P. Stäckel. Leipzig, W. Engelmann. 1894.

3) Ein anderer Ausdruck für Maxima und Minimaaufgaben.

4) S. S. 143.

Problemen vorzugsweise befaßten. In seiner epochemachenden Abhandlung vom Jahre 1762 löste Lagrange das Problem in seiner Allgemeinheit, für eine Integralformel $\int Z$, in welcher Z eine bestimmte Funktion der Variabeln x, y, z und ihrer Differentiale bezeichnet, diejenige Relation zu finden, welche diese Variabeln unter sich haben müssen, damit $\int Z$ ein Maximum oder ein Minimum wird. Dann wendet er sich zur Erläuterung seiner Methode der Untersuchung der Brachistochrone zu, einer Kurve, die in der Geschichte der Mathematik ihre besondere Bedeutung besitzt, weil sie den Untersuchungen der Bernoulli über isoperimetrische Probleme zum Ausgangspunkte gedient hat[1]).

Eine Vereinfachung und Vervollständigung seiner Methode der Variationen hat Lagrange in einer Abhandlung[2]) vom Jahre 1770 und vor allem in seiner „Analytischen Mechanik“ (1788) gegeben. Auch Legendre und später Jacobi haben wertvolle Beiträge zur weiteren Ausgestaltung des für die mathematische Physik so wichtigen Verfahrens geliefert[3]).

Lagrange war es vorbehalten, die Mechanik in ein System zu bringen und durch die Verbindung des Prinzips der virtuellen Geschwindigkeiten mit dem Satze von d'Alembert diejenige Gleichung abzuleiten, die er selbst als die dynamische Grundformel bezeichnet hat, weil sich danach „die Bewegung irgend eines Systems von Körpern regelt“[4]). Durch diese Leistung Lagranges ist seine „Mécanique analytique“ vom Jahre 1788 zur Grundlage der neueren Mechanik geworden und zu einer Bedeutung gelangt, welche derjenigen, die Newtons „Prinzipien“ für das vorhergehende Zeitalter der Mechanik besaßen, kaum nachsteht. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Newton und Lagrange besteht darin, daß Newton seine Sätze an der Figur entwickelte und somit rein geometrisch (synthetisch) verfuhr, während Lagrange und sein Vorgänger Euler auf dem Gebiete der Mechanik die analytische oder rechnende Methode begründeten. Das Bestreben dieser Analytiker lief darauf hinaus, zu möglichst

1) Siehe S. 355.

2) Lagrange, Über die Methode der Variation. 1770. Im 47. Bande von Ostwalds Klassikern herausgegeben von P. Stäckel. Leipzig, W. Engelmann. 1894.

3) Die betreffenden Arbeiten von Legendre und Jacobi hat P. Stäckel gleichfalls im 47. Bande von Ostwalds Klassikern veröffentlicht.

4) Mec. analyt. Partie II, Sect. II.

umfassenden Formeln zu gelangen, welche die Behandlung der zahlreichen Einzelfälle nach dem gleichen Schema ermöglichen und sie dadurch erleichtern. In diesem Sinne ist Lagranges analytische Mechanik wohl als eine großartige Leistung in bezug auf die Ökonomie des Denkens bezeichnet worden[1]).

Für die Statik leitete Lagrange die allgemeinste Formel für das Gleichgewicht eines beliebigen Systems von Kräften aus dem Prinzip der virtuellen Verschiebungen ab. Wirken auf eine Anzahl von Massenpunkten, die zu einem System verbunden sind, die Kräfte P_1, P_2, P_3 ... und sind die entsprechenden virtuellen Verschiebungen p_1, p_2, p_3 ..., so herrscht in dem System Gleichgewicht, wenn $P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3 + \ldots = 0$ ist. Der kürzeste Ausdruck für diese Grundformel der Statik lautet: $\Sigma P p = 0$.

Bezieht man die Massenpunkte auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem und zerlegt jede Kraft in ihre parallel zu den Koordinatenachsen wirkenden Komponenten, so lautet die Formel:

$$\Sigma (X\,d\,x + Y\,d\,y + Z\,d\,z) = 0.$$

Die Komponenten für die einzelnen Massenpunkte sind $X_1 Y_1 Z_1$, $X_2 Y_2 Z_2$ usw. Ferner sind die virtuellen Verschiebungen für die zuletzt erwähnte Formel gleichfalls parallel den Achsen zerlegt in $dx_1\, dy_1\, dz_1$, $dx_2\, dy_2\, dz_2$ usw.

Die Ableitung der Grundformel für die Dynamik aus dem Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten in Verknüpfung mit dem Satz von d'Alembert gestaltet sich folgendermaßen. Es seien $m_1\, m_2\, m_3$ ... die Massenpunkte, $x_1\, y_1\, z_1$, $x_2\, y_2\, z_2$ ... die zugehörigen Koordinaten und $X_1\, Y_1\, Z_1$, $X_2\, Y_2\, Z_2$ ... wieder die Kraftkomponenten. Da die Massenpunkte unter sich verbunden sind, so führen sie Bewegungen aus, welche durch die Kräfte $m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2}$, $m_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2}$, $m_1 \frac{d^2 z_1}{dt^2}$ ... an den nicht miteinander verbundenen Massen hervorgerufen werden können. Diese Kräfte und die angreifenden Kräfte X, Y, Z ... stehen aber nach d'Alemberts Prinzip im Gleichgewicht. Wendet man darauf das Prinzip der virtuellen Verschiebungen an, so ergibt sich die Formel:

$$\Sigma m \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \delta x + \frac{d^2 y}{dt^2} \delta y + \frac{d^2 z}{dt^2} \delta z\right) = \Sigma m (X \delta x + Y \delta y + Z \delta z).$$

Dafür kann man auch schreiben:

$$\Sigma \left\{ m \left(X - \frac{d^2 x}{dt^2}\right) \delta x + m \left(Y - \frac{d^2 y}{dt^2} \delta y\right) + m \left(Z - \frac{d^2 z}{dt^2}\right) \delta z \right\} = 0.$$

[1]) E. Mach, Die Mech. in ihrer Entwicklung. Leipzig. 1897. S. 458.

Die Grundformeln der analytischen Mechanik geben uns nicht etwa neue Aufschlüsse über die Natur der mechanischen Vorgänge, sondern sie bauen sich auf schon bekannten Prinzipien auf. Was sie geben, ist die Möglichkeit, mit ihrer Hilfe auf rechnerischem Wege zur Bewältigung der Einzelfälle dieser Wissenschaft zu gelangen[1]). Die Vervollkommnung, welche die analytische Mechanik seit Lagrange durch Poisson, Green, Hamilton, Gauß, Helmholtz und andere Forscher erfuhr, hing daher von der weiteren Entwicklung des Kalküls ab.

Die „Analytische Mechanik" von Lagrange kam nicht nur der mathematischen Physik, sondern vor allem auch der theoretischen Astronomie zugute. Um letztere Wissenschaft machte sich Lagrange außerdem noch durch eine Reihe von Abhandlungen verdient, unter denen sein „Versuch einer neuen Methode, um das Problem der drei Körper zu lösen" besondere Erwähnung verdient[2]).

Die Abweichungen, welche ein Planet in seiner elliptischen Bahn um den Zentralkörper durch den Einfluß eines dritten Weltkörpers erfährt, hatte Newton noch nicht in Rechnung ziehen können. Der erste, dem dies gelang, war Euler. Nach ihm haben sich um die Bewältigung dieses Problems Lagrange und ganz besonders Laplace verdient gemacht. War man auch nicht imstande, eine völlig befriedigende Theorie zu finden, so erkannte man doch, daß auch unter dem Einfluß eines dritten Körpers eine elliptische Bewegung stattfindet, bei welcher jedoch die Elemente der Ellipse sehr langsamen (säkularen) Änderungen unterworfen sind. Da also mit anderen Worten im Verlaufe langer Zeiträume periodisch derselbe Zustand wieder eintritt, so erschien die Stabilität des Sonnensystems gesichert.

Endlich sei noch erwähnt, daß Lagrange die mathematische Analyse auch in den Dienst der Kartographie gestellt hat. Der erste, welcher die Theorie dieser Disziplin unter allgemeine Gesichtspunkte zu bringen suchte, war bekanntlich Lambert[3]). Er stellte sich die Aufgabe, die Lage der Längen- und Breitenkreise so zu bestimmen, daß alle auf der Karte vorkommenden Winkel den betreffenden Winkeln auf der Erdkugel gleich seien. Dieselbe Aufgabe beschäftigte auch Euler[4]). Während Lambert und Euler

---

1) Mach, a. a. O. S. 471.

2) Essai d'une nouvelle méthode pour résoudre le problème des trois corps. Paris. 1788.

3) Siehe Ostwalds Klassiker. Bd. 54.

4) Siehe Ostwalds Klassiker. Bd. 93.

sich noch auf bestimmte Projektionsarten beschränkten, suchte Lagrange der Theorie eine größere Allgemeinheit zu geben, indem er alle Fälle in Betracht zog, in welchen die Meridiane und die Parallelkreise durch Kreise wiedergegeben werden[1]).

Die Ausdehnung der mathematischen Analyse auf sämtliche Gebiete der Naturwissenschaft kam im 18. Jahrhundert nicht nur der reinen und der angewandten Mechanik, sondern auch der Optik und der solange vernachlässigten Akustik zugute.

Die Optik war bis auf Keplers und Scheiners Zeit eine vorwiegend geometrische Wissenschaft gewesen. Scheiner errichtete die ersten Grundlagen für die physiologische Optik. Eine bemerkenswerte Erweiterung der Theorie des Sehens unter Berücksichtigung der physiologischen und der physikalischen, insbesondere der quantitativen Seite, erfolgte um die Mitte des 18. Jahrhunderts durch Lambert, den wir als den Begründer der Photometrie bezeichnen müssen. Lambert erschöpfte dies Gebiet in einer Weise, daß seit dem Erscheinen seines großen, diesen Wissenszweig behandelnden Hauptwerkes[2]) nur wenige die Photometrie betreffende Fragen aufgeworfen und erörtert worden sind, die Lambert nicht schon behandelt oder gestreift hätte.

Johann Heinrich Lambert wurde am 26. August des Jahres 1728 zu Mülhausen im Elsaß als Sohn eines armen Handwerkers geboren. Da es an Mitteln fehlte, um den hochbegabten Knaben, dem Rate seiner Lehrer entsprechend, studieren zu lassen, war Lambert zunächst gezwungen das Schneiderhandwerk zu erlernen. Seiner schönen Handschrift verdankte er dann eine Anstellung als Schreiber. Zunächst war er als solcher in einem Eisenwerk, später bei einem Professor der Rechtswissenschaft in Basel tätig. Letzterer ließ ihm einen Teil des Tages zur wissenschaftlichen Weiterbildung frei, und so vermochte es Lambert, durch eifriges Selbststudium die Lücken seiner Bildung auszufüllen. Sein Gönner verschaffte ihm darauf eine Stelle als Erzieher in einem gräflichen Hause. Hier und in den Jahren, die er mit

[1]) J. L. de Lagrange, Über die Konstruktion geographischer Karten (1779). Im 55. Bande von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben von A. Wangerin. Leipzig, W. Engelmann, 1894.

[2]) Lambert, Photometria sive de mensura et gradibus luminis, coloribus et umbrae, 1760. Das Werk wurde neuerdings als 31., 32. und 33. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften übersetzt und mit zahlreichen Anmerkungen herausgegeben von Anding. Leipzig, Verlag von Wilh. Engelmann. 1892.

seinen Zöglingen auf der Universität verlebte, fand Lambert Muße, sich eingehender mit wissenschaftlicher Arbeit zu befassen. Sein Interesse war besonders der Astronomie zugewandt, und aus dem Bestreben, gewisse astronomische Fragen zu lösen, entsprang auch seine Beschäftigung mit der Lehre vom Licht. Bald nachdem Lambert seine Tätigkeit als Erzieher aufgegeben hatte, erschienen rasch nacheinander seine drei Hauptwerke, nämlich die Photometrie (1760), eine Abhandlung über den Lauf der Kometen und seine kosmologischen Briefe (1761). Lambert war dadurch als kaum Dreißigjähriger mit einem Schlage zu einer europäischen Berühmtheit geworden. Auch als Philosoph gewann der vielseitige Mann einen solch hervorragenden Ruf, daß Kant ihn für einen der ersten unter seinen Zeitgenossen hielt[1]). Kant schrieb an Lambert, er halte ihn für das größte Genie Deutschlands und für den geeigneten Mann, die Philosophie zu reformieren. Er selbst wolle keine Zeile in seinen Werken stehen lassen, die Lambert nicht deutlich finde. Die Bemühungen der Petersburger Akademie um Lambert wurden dadurch vereitelt, daß ihn die Berliner Akademie zum Mitglied ihrer physikalischen Klasse mit einem Jahresgehalt von 500 Talern ernannte. Lambert stand in regem wissenschaftlichen Verkehr mit Euler und Lagrange. Er starb am 25. September 1777. Sein frühzeitiger Tod wird darauf zurückgeführt, daß er durch übermäßige Tätigkeit seine Gesundheit untergrub.

Über Lambert besitzen wir folgende Charakterzeichnung: „Er war gleichgültig gegen alles, was das Leben schön und behaglich macht. Sein Kopf arbeitete unbehelligt durch Leidenschaften wie eine schwer zum Stehen zu bringende Maschine. Dabei war er harmlos und naturwüchsig. In der Mathematik stand Lambert nicht auf der Höhe von Euler und Lagrange. In der Astronomie war er kein Herschel, in der Physik kein Newton. In der Philosophie gebrach es ihm an Leibnizens Fülle und Beweglich-

[1]) Lamberts philosophische Werke verdienen deshalb besondere Beachtung, weil sie aus dem Bestreben hervorgegangen sind, die Mathematik und die exakte Beweisführung auf dem Gebiete der Philosophie zur Geltung zu bringen. Ihre Titel lauten: 1. Neues Organon oder Gedanken über die Erforschung und Bezeichnung des Wahren und dessen Unterscheidung von Irrtum und Schein. Leipzig. 1764. 2. Architektonik oder Theorie des Einfachen und Ersten in der philosophischen und mathematischen Erkenntnis. Riga. 1771.

keit und an Kants bohrendem Tiefsinn. Aber, daß er alle vier Disziplinen mit grundlegenden und fortbildungsfähigen Arbeiten befruchtete, macht ihn doch den Größten ähnlich."

Auf dem Gebiete der Photometrie war vor Lambert nur wenig geschehen. Kepler hatte zwar den Hauptsatz, daß die Lichtstärke mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, geometrisch abgeleitet, zu Versuchen die Lichtstärken verschiedener leuchtender Körper zu vergleichen, war indessen erst Huygens übergegangen. Das erste wirkliche Photometer hatte dann der Franzose Bouguer (1698 bis 1758) geschaffen. Es bestand aus zwei durchscheinenden Schirmen, die sich in den Öffnungen O O[1] (siehe Abb. 109) befanden. Damit das Licht der beiden Lichtquellen sich nicht vermischen konnte, war zwischen den beiden Öffnungen nach der Seite der Flammen eine Scheidewand (F) angebracht. Die Lichtquelle, deren Stärke zu messen war, wurde verschoben, bis dem vor O O[1] befindlichen Auge die transparenten, in O O[1] befindlichen Schirme gleich hell erschienen.

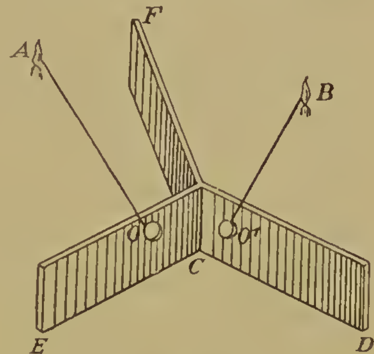


Abb. 109.
Bouguers Photometer.

Bouguer verfaßte auch ein Werk über die Photometrie, das 1760, also gleichzeitig mit Lamberts, denselben Gegenstand betreffender Schrift erschien, von Lambert also nicht berücksichtigt werden konnte[1]). Es läßt sich begreifen, daß die Verdienste Bouguers und Lamberts um die Begründung des neuen Wissenszweiges gegeneinander abgewogen wurden, und es hat nicht an Stimmen gefehlt, welche Lambert gegenüber Bouguer zu verkleinern suchten[2]). Anerkannt muß werden, daß der französische den deutschen Forscher in der Anstellung sinnreicher und sorgfältiger Versuche bei weitem übertraf, während Lambert bei seinen experimentellen Untersuchungen mit einer gewissen Nachlässigkeit verfuhr. Bestand doch sein ganzes Instrumentarium nur aus drei kleinen Spiegeln, zwei Linsen, einigen Glasplatten und einem Prisma. Andererseits gebührt Lambert das Verdienst, die Begriffe und das System der Photometrie geschaffen zu haben. Während Bouguer sich an Beobachtungen hält und aus ihnen

[1]) Bouguer, Traité d'optique sur la gradation de la lumière. Ouvrage posthume. Paris. 1760.

[2]) Zöllner, Photometrische Untersuchungen.

nicht mehr folgert, als sich streng genommen daraus folgern läßt[1]), weiß Lambert jedem Problem eine, bis zum Ziel gelangende, mathematische Lösung zu geben. Allerdings war dies mitunter nur auf Grund einer so weit gehenden Vereinfachung der Voraussetzungen möglich, daß das Ergebnis der Rechnung nur als eine rohe Annäherung an die wirklichen Verhältnisse betrachtet werden durfte. Daß der Franzose, wie wir hervorhoben, die Beobachtung und die genaue Messung, der Deutsche dagegen die Begriffsbestimmung und die Ableitung unbeschadet mangelhafter Empirie in den Vordergrund stellt, war kein Zufall, sondern entsprach der Eigenart französischen und deutschen Geistes. Ein ähnliches Verhältnis waltete im 18. Jahrhundert zwischen den englischen und den deutschen Geisteserzeugnissen. Daß die Deutschen die Vorzüge der westeuropäischen Forschungsweise sich anzueignen und mit den eigenen Vorzügen zu verbinden wußten, hat dem Deutschland des 19. Jahrhunderts die führende Rolle auf dem Gebiete der Naturwissenschaften eingebracht.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen und der Eingliederung Lamberts in die Reihe seiner Zeitgenossen[2]) wenden wir uns seiner Photometrie zu, einem Werke, das, wie sein Herausgeber hervorhebt, für den Astrophysiker ebenso unentbehrlich ist, wie für den Astronomen das Studium von Laplaces Mécanique céleste[3]).

Lambert beginnt mit einer Betrachtung der Grundbegriffe der Photometrie. Gerade dasjenige, meint er, sei unserer Einsicht am meisten verschlossen, was der sinnlichen Wahrnehmung fortwährend begegne. Dafür stelle die Theorie des Lichtes ein ausgezeichnetes Beispiel dar. Daß diese nicht genüge, könne man schon daraus schließen, daß zwei so verschiedene Hypothesen wie diejenige von Newton und Euler (richtiger Huygens) zur Erklärung der Erscheinungen angewendet würden. Die erstere liege dem Verständnis näher, doch entspreche Eulers Theorie wohl mehr der Natur der Sache. Lambert knüpft daran einen oft wiederholten Ausspruch über die Beurteilung von Hypothesen. Seine Worte lauten: „Unter die vornehmsten und sichersten Kriterien dafür, daß eine Hypothese sich der Wahrheit nähert, muß man den Fall nehmen, wenn man aus ihrem Lehrgebäude den Eintritt

---

1) Zöllner, Photometrische Untersuchungen. S. 27 u. f.

2) Über die Beziehung von Lamberts Photometrie zum gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft handelt G. Recknagels gekrönte Preisschrift: Lamberts Photometrie. München 1861.

3) Ostwalds Klassiker Nr. 33. S. 63.

neuer Erscheinungen vorhersehen und wenn man Sätze daraus folgern kann, denen die zu diesem Zwecke angestellten Versuche beipflichten“ [1]). Diese Prüfung sollte erst weit später zugunsten der von Huygens und Euler vertretenen Wellentheorie entscheiden [2]).

Da es für photometrische Untersuchungen kein absolutes Maß gibt, sondern stets ein sehr subjektiver Faktor, das Urteil des Auges nämlich, in Betracht gezogen werden muß, macht Lambert eine Voraussetzung. Sie besagt, daß eine Erscheinung stets dieselbe ist, so oft dasselbe Auge auf die gleiche Weise affiziert wird. Das Auge sei bei verschiedenen Helligkeitsgraden zwar nicht imstande, zu entscheiden, um wieviel der eine größer sei als der andere, doch müsse man voraussetzen, daß das Auge über die Gleichheit zweier Helligkeitsgrade entscheiden könne. Nur durch die Verknüpfung dieses Axioms mit den schon aus geometrischen Überlegungen folgenden Prinzipien der Photometrie könne man zu einem Ausbau dieses Teils der Optik gelangen.

Von solchen Prinzipien hob Lambert außer dem Satze von der Abnahme des Lichtes mit dem Quadrate der Entfernung noch zwei besonders hervor. Der erste lautet: „Wird dieselbe Fläche einmal von m, das andere Mal von n Lichtquellen beleuchtet, von denen jede dieselbe Intensität besitzt und ihr Licht unter völlig gleichen Umständen nach der Fläche sendet, so verhalten sich die Helligkeitsgrade wie m : n.“ Die Beleuchtung eines Blattes ist also um so stärker, je größer die Anzahl der leuchtenden Kerzen ist, vorausgesetzt, daß dieselben gleich hell sind, die gleiche Entfernung vom Blatte und die gleiche Größe besitzen [3]).

Der dritte wichtige Grundsatz sprach aus, daß die Helligkeit in demselben Verhältnis abnimmt wie der Sinus des Neigungswinkels. Der geometrische Beweis, den Lambert hierfür bringt (Photometrie § 53), ist in alle Lehrbücher der Physik übergegangen. Lambert begnügte sich nicht mit dem theoretischen Beweise dieser Sätze, sondern er suchte auch durch geeignete Versuche ihre gegenseitige Abhängigkeit darzutun und ihnen auf diese Weise eine noch größere Sicherheit zu verleihen.

---

[1]) Ostwalds Klassiker Nr. 31. S. 5.

[2]) Durch die Entdeckung der konischen Refraktion. Poggendorffs Annalen. Bd. 28.

[3]) Ostwalds Klassiker. Bd. 31. S. 21. Auf diesen Grundsatz hatte auch schon Euler hingewiesen.

Das nächste Kapitel beschäftigt sich mit der Messung und der Stärke des direkten Lichtes. Für zahlreiche Einzelfälle wird die Lichtmenge oder die Erleuchtungskraft berechnet, die von verschieden gestalteten Flächenstücken ausgeht. Das von Lambert benutzte Photometer stimmte mit dem nach Rumford benannten ziemlich überein. Lamberts Verfahren bestand darin, daß er die Helligkeit zweier Flächenstücke verglich, von denen das eine durch eine bestimmte, das andere durch eine Lichtquelle, deren Stärke ermittelt werden sollte, beleuchtet wurde. Die Einrichtung geht aus Fig. 2 der Photometrie (siehe Abb. 110) hervor.



Abb. 110. Lamberts Photometer.

In K und A stehen die beiden Lichtquellen, die verglichen werden sollen. BDCEFG sei eine weiße, ebene Fläche; vor dieser ist über HI ein undurchsichtiger, Schatten spendender Schirm aufgestellt. Der von der Lichtquelle bei A herrührende Schatten bedeckt den Teil DFEC der weißen Fläche, während der von K ausgehende Schatten auf DFGB fällt. Auf diese Weise wird der vordere Teil der Fläche DFGB nur von der Lichtquelle in A, der hintere Teil DFEC nur von den von K kommenden Strahlen beleuchtet. Die eine Lichtquelle wird dann so lange bewegt, bis die weiße Fläche zu beiden Seiten der Linie DF gleich hell erscheint.

Auf die übrigen Ergebnisse Lamberts einzugehen, würde zu weit führen. Es folgt auf das Kapitel, das sich mit dem direkten Lichte beschäftigt, ein anderes über die Reflexion des Lichtes durch dunkle Körper[1]). Ferner wird von der durch zerstreutes Licht erzeugten Helligkeit der durchsichtigen Körper, insbesondere der irdischen Atmosphäre gehandelt und eine Formel für die Extinktion des Lichtes auf seinem Wege durch die Atmosphäre abgeleitet (Photometrie § 878 bis 882). Im Anschluß hieran wird die Dämmerung untersucht und die Höhe der Atmosphäre bestimmt.

Der sechste Teil des Lambertschen Werkes enthält die Grundzüge der Astrophotometrie. Es wird darin die Theorie der Lichtstärke des Mondes und der Hauptplaneten entwickelt Den

---

1) Ostwalds Klassiker. Bd. 32. S. 1 u. f.

Schluß bildet eine experimentelle und theoretische Erörterung über die Intensität des heterogenen und des relativen Lichtes, worunter die Farben und der Schatten verstanden sind.

Auf den Gang der Untersuchung kann hier nicht näher eingegangen werden, doch sei hier einiges über die Ergebnisse mitgeteilt. Nach Lambert entspricht die Absorption des Lichtes beim senkrechten Durchgang durch die Atmosphäre dem Verhältnis 100 : 59[1]).

Für die mittlere Helligkeit des Vollmondes zu derjenigen der Sonne wird das Verhältnis 1 : 277000 ermittelt und die mittlere Helligkeit des Vollmondes zu zwei Drittel der mittleren Zentralhelligkeit bestimmt. Letztere wird dann auch für die Planeten aus der Zentralhelligkeit der Erde nach dem ersten von Kepler ausgesprochenen Grundsatz der Photometrie berechnet.

Während die Mechanik und die Optik seit den Zeiten Galileis von seiten aller hervorragenden Physiker eine besondere Pflege erhalten hatten, blieb das Gebiet der Akustik zunächst sehr vernachlässigt. Newton hatte zwar in seinen Prinzipien eine Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles abgeleitet. Die experimentellen Bestimmungen dieser wichtigen Konstante schwankten jedoch zwischen 1071 und 1255 Pariser Fuß. Die Berechnung aus Newtons Formel ergab den noch geringeren Wert von 906 Fuß. Dieser Widerspruch zwischen Theorie und Erfahrung bewog die Mathematiker, sich mehr als bisher den Problemen der Akustik zuzuwenden. Zunächst prüften Euler und bald darauf Lagrange die Newtonsche Formel, ohne jedoch zu einer Lösung des bestehenden Widerspruchs gelangen zu können. Daniel Bernoulli wandte sich besonders der Untersuchung der Luftschwingungen in den Orgelpfeifen zu[2]). Er sowie Euler lieferten ferner Untersuchungen über die Schwingungen von Saiten und Stäben. Die Abhandlungen, welche Euler, Lagrange, Bernoulli, d'Alembert u. a. über diesen Gegenstand veröffentlichten, besitzen indessen mehr mathematischen als physikalischen Wert. Der erste, der den akustischen Problemen durch eine erfolgreiche Vereinigung von Experiment und mathematischer Analyse gerecht zu werden vermochte, war Chladni.

---

[1]) Ostwalds Klassiker. Bd. 32. S. 71.

[2]) Dan. Bernoulli, Sur le son et sur les tons des tuyaux d'orgues Mém. de Paris. 1762.

Ernst Florens Friedrich Chladni wurde als Sohn eines Professors der Rechte am 30. November 1756 in Wittenberg geboren. Er studierte auf Veranlassung seines Vaters zunächst gleichfalls die Rechte, wandte sich aber nach dessen Tode mit großer Vorliebe den Naturwissenschaften und der Musik zu. Die Beschäftigung mit der letzteren veranlaßte ihn zum Lesen akustischer Schriften. Da ihm diese indessen nur sehr unvollkommene Aufschlüsse gaben, ging er zu eigenen Untersuchungen über.

Vor Chladni hatte man sich ausschließlich mit den Quer- oder Transversalschwingungen von Saiten befaßt. Chladni entdeckte, daß an Saiten und insbesondere an Stäben auch Longitudinalschwingungen und drehende Schwingungen hervorgerufen werden können[1]).

Auf die Longitudinalschwingungen von Stäben, welche Chladni 1796 beschrieb (Über die Longitudinalschwingungen der Saiten und Stäbe, Erfurt 1796) gründete er die Erfindung einiger neuer Musikinstrumente, des Euphons und des Klavizylinders.

Das Euphon bestand aus Glasstäben, die auf Eisenstäben ruhten und mit angefeuchteten Fingern gerieben wurden. Beim Klavizylinder bestanden die Stäbe aus Holz; sie wurden durch eine Tastatur gegen einen rotierenden feuchten Glaszylinder gepreßt. Beide Instrumente gaben einen sanften, anhaltenden, langsam an- und abschwellenden Ton. Sie haben indessen keine Aufnahme gefunden.

Das Studium der Longitudinalschwingungen führte Chladni zu einer Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in festen Körpern. Er fand sie weit größer als die Schallgeschwindigkeit in der Luft. Wählte er letztere als Einheit, so ergab sich diejenige für

Zinn	gleich	7,5
Silber	,,	9
Kupfer	,,	12
Eisen	,,	17
Glas	,,	17.

Eine direkte Messung der Schallgeschwindigkeit in einem Metall hat einige Jahrzehnte später Biot vorgenommen. Er stellte sie an gußeisernen Röhren an, die auf eine längere Strecke verbunden waren. Wurde die so entstandene, sehr lange metallische

1) Über die drehenden Schwingungen eines Stabes berichtete Chladni in den neuen Schriften der naturforschenden Freunde in Berlin. II. Bd. 1799.

Leitung an einem Ende angeschlagen, so nahm man den Ton zuerst durch das Metall und weit später durch die Luft wahr. Aus der Zeitdifferenz ergab sich für Gußeisen eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles von etwa 3500 Metern.

Chladni untersuchte auch die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasen. Über die Stärke des Schalles in den Gasarten hatte schon Priestley Versuche angestellt. Er hatte gefunden, daß der Schall in Wasserstoff fast so schwach ist wie im Vakuum, während er in Sauerstoff und in Kohlensäure stärker ist als in der atmosphärischen Luft. Eine direkte Messung in den verschiedenen Gasarten vermochte Chladni nicht vorzunehmen. Sein Verfahren bestand darin, daß er Orgelpfeifen in verschiedenen Gasen ertönen ließ. Da hier die Schwingungszahl und somit die Höhe der Töne zu der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in einem mathematisch bestimmten Verhältnis steht, ließ sich aus der Verschiedenheit der Tonhöhe, welche dieselbe Pfeife in verschiedenen Gasen aufwies, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles für jedes Gas ermitteln. Direkte Messungen hat später Regnault in Wasserleitungsröhren vorgenommen, die mit den verschiedenen Gasen gefüllt wurden. Sie ergaben, daß Chladnis Ableitungen im allgemeinen zutreffend waren.

Ein ganz neues Gebiet wurde von Chladni dadurch erschlossen, daß er sich der experimentellen und mathematischen Untersuchung schwingender Platten zuwandte. Ausführlich berichtete er darüber 1787 in einer Schrift, welche den Titel „Entdeckungen über die Theorie des Klanges“ führt. Besonderes Aufsehen erregte Chladni durch die Art, wie er die Schwingungen der Platten vermittelst der nach ihm genannten Chladnischen Klangfiguren sichtbar machte. Auf sein Verfahren wurde er durch die Lichtenbergschen Staubfiguren geführt, die nach einer 1777 gemachten Entdeckung entstehen, wenn fein gepulverte Körper, wie Schwefelblumen oder Mennige, auf Platten gebracht werden, auf welche man die Elektrizität überspringen läßt. Aus der Art, wie sich das Pulver lagert, läßt sich schließen, ob die Elektrizität positiv oder negativ ist.

Um in ähnlicher Weise den akustischen Zustand einer Platte festzustellen, befestigt Chladni sie in horizontaler Lage an einer oder mehreren Stellen, streicht sie unter rechtem Winkel mit einem Violinbogen und streut gleichzeitig Sand hinauf. Letzterer ordnet sich in den bekannten regelmäßigen Figuren an, indem er „von den schwingenden Stellen heruntergeworfen wird und auf den

nicht schwingenden Stellen ruhig liegen bleibt." Chladni erkannte daraus, daß „die natürliche Gestalt des Körpers durch die elastischen Flächenkrümmungen, ebenso in gewissen Linien durchschnitten wird, wie dieses bei den krummen Schwingungslinien der Saiten in gewissen Punkten geschieht, und daß zwei Stellen, welche durch eine solche feste Linie voneinander gesondert sind, stets nach entgegengesetzten Richtungen schwingen".

Die folgenden, dem Werke Chladnis entnommenen 4 Figuren zeigen uns, wie eine quadratische Platte schwingt, wenn sie in verschiedener Weise festgehalten und gestrichen wird.

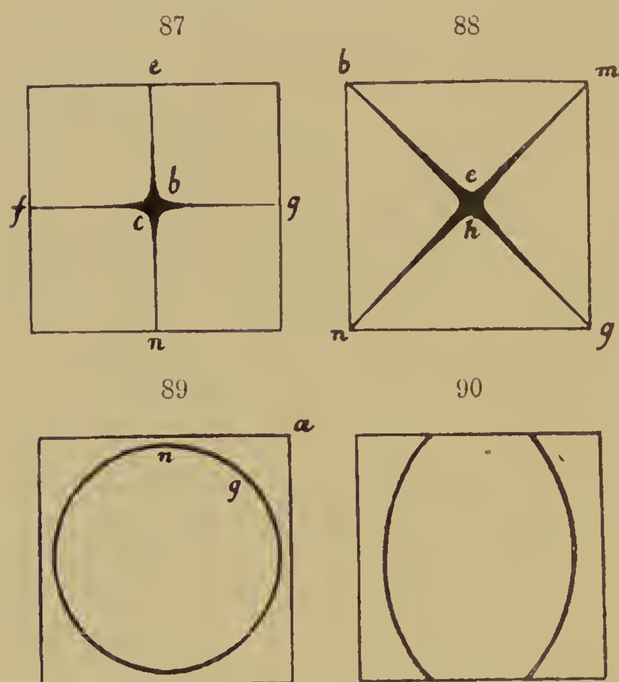


Abb. 111. Chladnische Klangfiguren. (Chladni, Entdeckungen über die Theorie des Klanges, 1787. Tafel VIII. Fig. 87—90.)

Fig. 87 erscheint, wenn die Scheibe in der Mitte gehalten und an einer Ecke gestrichen wird. Diese Schwingungsart gibt den tiefsten Ton.

Fig. 88 entsteht, wenn man die Scheibe wieder in der Mitte befestigt, aber in der Mitte einer Seite streicht.

Der Ton ist dann nicht derselbe wie vorher, sondern etwa um eine Quinte höher.

Fig. 89, die leicht in 90 übergeht, erhält man, wenn die Scheibe bei n oder g gehalten und bei a gestrichen wird. Der Ton ist wieder etwas höher als der vorige.

Chladni zeigte, daß man durch Festhalten mehrerer Stellen und Abwechseln ihrer Lage eine ganz außerordentliche Mannigfaltigkeit von Schwingungszuständen und diesen entsprechenden Klangfiguren hervorrufen kann. Sie könnten, meint er, den Tapeten- und Kattunfabrikanten genug Stoff zur Bereicherung ihrer Muster geben. Die Klangfiguren fesselten das Interesse aller Kreise in hohem Grade, da Chladni, der kein Amt bekleidete,

sie an vielen Orten in akustischen Vorträgen, durch die er seinen Lebensunterhalt erwarb, vorführte[1]).

Außer den erwähnten Schriften Chladnis ist noch sein zusammenfassendes Werk, „die Akustik", zu erwähnen[2]). In seinen neuen Beiträgen zur Akustik vom Jahre 1817 ermittelte Chladni die obere Grenze der Hörbarkeit von Tönen zu 22000 Schwingungen in der Sekunde.

Chladnis Verdienst um die Aufklärung der Natur der Meteore wird an anderer Stelle gewürdigt werden. Er starb in Breslau am 3. April des Jahres 1827.

---

1) Chladni wurde von Napoleon, der den Ergebnissen der physikalischen Forschung das größte Interesse entgegenbrachte, ehrenvoll aufgenommen. Napoleons Ausspruch: „Chladni läßt die Töne sehen", machte die Runde durch die ganze gebildete Welt. Siehe J. Ebstein „Aus Chladnis Leben und Wirken" (Mitteilungen zur Geschichte der Med. und der Naturw., IV. Bd. Nr. 3 (1905), S. 438 u. f.). Ebsteins Abhandlung enthält 18 bisher ungedruckte Briefe Chladnis.

2) Chladni, Die Akustik. Leipzig 1802.

18. Die Fortschritte der Astronomie nach der Begründung der Gravitationsmechanik.

Neben dem Wettkampf zwischen dem dioptrischen Fernrohr und dem Reflektor beschäftigten die Astronomen des 18. Jahrhunderts noch zwei wichtige Fragen, welche die vorhergehende Periode aufgeworfen hatte. Sie betrafen die Abweichung der Erde von der Kugelgestalt und die Bestimmung der Sonnenparallaxe aus den 1761 und 1769 wieder zu erwartenden Vorübergängen der Venus. Um die von Newton und Huygens herrührende Annahme, daß die Erde ein an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid sei[1]), auf ihre Richtigkeit zu prüfen, waren genaue Gradmessungen in der Nähe eines Pols und des Äquators erforderlich. War, der Theorie Newtons gemäß, die Krümmung in der Nähe der Pole eine geringere, so mußte sich hier für den Breitengrad eine größere Strecke ergeben als für eben dieses Maß in der Nähe des Äquators. Zur Entscheidung dieser Frage sandte die französische Regierung in den Jahren 1735 und 1736 Expeditionen nach Peru und nach Lappland. Die erstere, welche von Bouguer[2]) und Condamine[3]) geleitet wurde, maß den Abstand zwischen zwei nördlich und südlich vom Äquator gelegenen Orten und fand für den Grad 56734 Toisen. Die von Maupertuis[4]) geführte zweite Expedition stellte ihre Messungen in

1) Siehe Seite 270 ds. Bds.

2) Pierre Bouguer wurde im Jahre 1698 in der Bretagne geboren und starb 1758.

3) Charles Marie de la Condamine wurde 1701 in Paris geboren und starb im Jahre 1774.

4) Pierre de Maupertuis wurde 1698 zu St. Malo geboren und trat im Jahre 1731 in die Akademie ein. Zehn Jahre später berief ihn Friedrich der Große nach Berlin und ernannte ihn zum Präsidenten der dortigen Akademie. Während er diese Stellung bekleidete, hat Maupertuis wissenschaftlich wenig geleistet; um so größeres Aufsehen erregte sein Streit mit Voltaire, welcher die Entfremdung zwischen dem letzteren und dem Könige zur Folge hatte. 1753 kehrte Maupertuis nach Paris zurück. Er starb im Jahre 1759.

der Nähe des Tornea unter dem 66. Grade nördlicher Breite an. Das von dieser Expedition gefundene Ergebnis belief sich auf 57438 Toisen, war also um 704 Toisen größer als das am Äquator erhaltene, während sich für die Breite von 45° ein zwischen diesen beiden Größen liegender Wert von 57012 Toisen ergab. Die von Newton und Huygens aufgestellte Ansicht über die Gestalt der Erde hatte somit ihre Bestätigung erfahren. Nach Condamine ergaben diese Messungen, daß sich die Erdachse zum Durchmesser des Äquators wie 299 : 300 verhält, während Newton auf rechnerischem Wege das Verhältnis 288 : 289 gefunden hatte.

Das Problem, die Entfernung und die Größe der Sonne und damit zugleich die Abmessungen des Planetensystems nach ihrem absoluten Werte zu bestimmen, eine Aufgabe, welche der Astronomie seit der Zeit des Aristarch vorgeschwebt, wurde gleichfalls in dieser Periode gelöst. Edmund Halley (1656—1742), ein jüngerer Zeitgenosse Newtons, der sich um die Fortbildung der Physik, der Astronomie und der physikalischen Geographie große Verdienste erworben hat, war gelegentlich eines von ihm beobachteten Vorüberganges des Merkur vor der Sonne auf den Gedanken gekommen, ein derartiges Phänomen zur Bestimmung der Sonnenparallaxe zu verwerten, d. h. desjenigen Winkels, unter dem der Erdhalbmesser von der Sonne aus erscheinen würde.

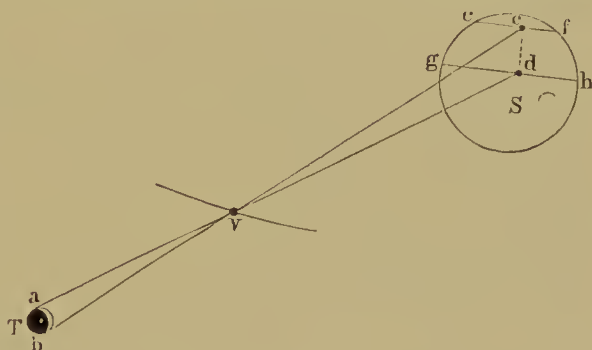


Abb. 112. Halleys Bestimmung der Sonnenparallaxe [1]).

Halley machte seinen Vorschlag in zwei Abhandlungen, die 1693 und 1716 in den Philosophical Transactions erschienen. Ihre Titel lauten: „Über die sichtbare Konjunktion der unteren Planeten mit der Sonne“ [2]) und „Ein besonderes Verfahren, durch welches die Parallaxe der Sonne mit Hilfe der vor der Sonnenscheibe zu erblickenden Venus sicher bestimmt werden kann“ [3]).

---

1) Joh. Müllers Lehrbuch der kosmischen Physik, 5. Aufl. Braunschweig 1894, Fig. 97.

2) De visibili conjuctione inferiorum planetarum cum Sole.

3) Methodus singularis, qua Solis parallaxis ope Veneris intra Solem conspiciendae tuto determinari poterit.

Halleys Vorschlag ging dahin, von mehreren entfernten Stellen aus die Durchgangszeiten eines der unteren Planeten, d. h. die Zeiten ihres Vorüberganges vor der Sonnenscheibe zu beobachten.

Bei einem Merkur- oder Venusdurchgang beschreiben nämlich die genannten Planeten auf der Sonnenscheibe Sehnen, deren Lage und Größe je nach dem Orte, den der Beobachter auf der Erde einnimmt, verschieden ist. Infolgedessen ist auch die Zeit eines und desselben Vorüberganges für die einzelnen Beobachtungsstationen von verschiedener Dauer. Wie aus Abbildung 112 ersichtlich ist, steht die Entfernung cd der Sehnen ef und gh zu den Abständen der drei Weltkörper und dem durch Messungen auf der Erde seiner absoluten Größe nach bekannten Stück ab in einer gewissen Beziehung, so daß sich aus den Ergebnissen der Beobachtung eines Venusdurchganges die Größe und die Entfernung der Sonne berechnen läßt[1]).

Halley selbst war es nicht mehr vergönnt, seinen Vorschlag ins Werk zu setzen, da Vorübergänge der Venus seltene Ereignisse sind und sich seit seinem Tode erst viermal wiederholt haben, nämlich in den Jahren 1761, 1769, 1874 und 1882. Sowohl für das Jahr 1761 als auch für 1769 wurden Expeditionen von den Kulturvölkern ausgesandt. Insbesondere waren daran England, Frankreich und Russland beteiligt. Aus dem an der Hudsonsbay, in Lappland, auf Tahiti usw. gewonnenen Beobachtungsmaterial berechnete der französische Astronom Delalande eine Parallaxe von 8,5—8,6 Sekunden. Da der mittlere scheinbare Durchmesser der Sonne sich auf 31′ 37″ = 1897 Sekunden beläuft, so ergibt sich aus dieser Bestimmung Delalandes, daß der Sonnendurchmesser denjenigen der Erde nahezu um das 113fache übertrifft, oder daß das Volumen der Sonne 1400000 mal so groß wie dasjenige der Erde ist. Für die halbe große Bahnachse ergab sich ein Wert von 20682000 geographischen Meilen. Eine sorgfältige Neuberechnung der Sonnenparallaxe nach den 1761 gewonnenen Daten veröffentlichte später Encke (1822). Er fand den Wert der Parallaxe gleich 8,53 Sekunden.

Sind die Größenverhältnisse des Systems bekannt, so läßt sich durch eine ähnliche Schlußfolgerung, wie diejenige, welche Newton auf die Entdeckung des Gravitationsgesetzes führte[2]), die Kraft

---

1) Da sich die Abstände der Erde und der Venus von der Sonne wie 1 : 0,723 verhalten, so ergibt sich die Proportion cd : ab = 0,723 : (1 — 0,723), woraus folgt, daß das zunächst gesuchte Stück cd = 2,6 ab ist.

2) Siehe Seite 234 d. Bds.

ermitteln, mit der ein Körper in der Nähe der Sonnenoberfläche angezogen wird. Delalande fand, daß diese Kraft 29 mal die Anziehung der Erde übertrifft, so daß ein frei fallender Körper auf der Sonne in der ersten Sekunde $29 \times 15,09 = 434$ Pariser Fuß zurücklegt. Die neueren Bestimmungen haben für die Sonnenparallaxe 8,88″ ergeben, wodurch sich der Abstand der Erde von der Sonne auf 20000000 geographische Meilen (148,6 Millionen Kilometer) vermindert und auch die übrigen Werte entsprechende Änderungen erfahren.

Von ganz außerordentlicher Tragweite war Halleys Beobachtung, daß die Fixsterne ihre gegenseitige Stellung ändern. Er machte sie am Aldebaran, Arktur und Sirius, für welche nach seinen Angaben diese, als Eigenbewegung bezeichnete, Änderung sich seit den Zeiten des Ptolemäos auf die beträchtliche Größe von etwa einem halben Grad belief[1].

Newton hatte auf theoretischem Wege nicht nur die Abplattung, sondern auch die Dichte unseres Weltkörpers ermittelt. Die Bestimmung der ersteren und der sich daran anknüpfende Streit hatten die Aussendung der Expeditionen nach Lappland und Quito zur Folge. In Quito machte Bouguer[2]) eine Entdeckung, welche später die Handhabe bot, um auch die Newtonsche Berechnung der Erddichte zu verifizieren. Bouguer fand nämlich, daß infolge der Anziehung des Chimborazo das Bleilot um 7—8″ von der senkrechten Lage abwich. Diese Beobachtung veranlaßte den Engländer Maskelyne (1732—1811), derartige Untersuchungen an einem nach Volumen und Dichte bekannten Berge anzustellen, um aus der Größe jener Abweichung und der Masse, welche sie hervorruft, die unbekannte Masse der Erde auf Grund des Newtonschen Gravitationsgesetzes zu berechnen[3]).

Maskelyne wählte für seine im Jahre 1774 angestellten Messungen einen steilen, regelmäßig geformten Granitberg Schott-

[1]) Philosophical Transactions von 1718.

[2]) Siehe Seite 285 ds. Bds.

[3]) Maskelyne, An account of observations made on the mountain Shehallien for finding its attraction. Philosophical Transactions for the year 1795 (Vol. LXV). pg. 500. Nevil Maskelyne wurde 1732 in London geboren und starb 1811 in Greenwich als Astronom der dortigen Sternwarte. Im Jahre 1761 beobachtete er den Durchgang der Venus von St. Helena aus. Ferner war er Begutachter der Ansprüche Harrisons und Mayers an den großen Preis, welchen die englische Regierung für die Lösung des Längenproblems ausgesetzt hatte.

lands, den Shehallien. Die Dichte dieses Berges wurde auf Grund mehrerer an verschiedenen Stellen entnommenen Proben zu 2,5 gefunden und aus diesem Wert und dem Rauminhalt des Berges die gesamte auf das Pendel wirkende Masse berechnet. Die Ablenkung selbst wurde dann in der Weise bestimmt, daß die Polhöhe nördlich und südlich von dem Berge gemessen wurde (siehe Abb. 113). Eine auf Grund der so gewonnenen Daten angestellte Rechnung ergab für die Erde als mittlere Dichte 4,71. Letztere ist danach also etwa doppelt so groß wie diejenige des Granits, eines Gesteins, mit dem die meisten Substanzen, welche die starre Erdkruste zusammensetzen, hinsichtlich ihrer Dichte nahezu übereinstimmen.

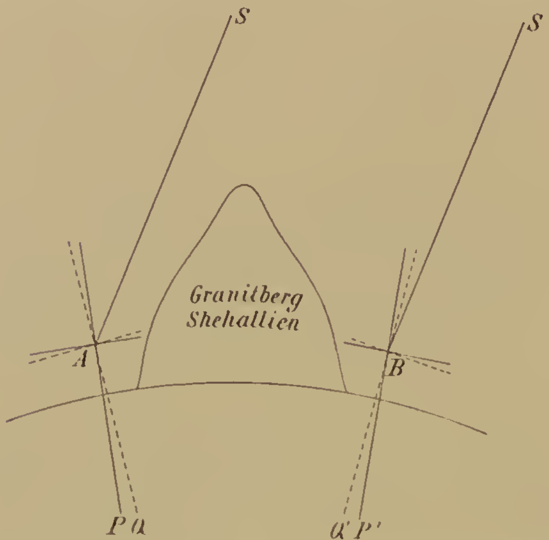


Abb. 113. Maskelyne und Hutton bestimmen die Dichte der Erde durch Versuche am Shehallien.

Der Abstand der durch A und B gezogenen Breitenkreise betrug 4364,4 Fuß. Dementsprechend hätten die Lote AP und BP', wenn der Shehallien nicht vorhanden gewesen wäre, einen Winkel von 42,92 Sekunden bilden müssen, und dieser Winkel wäre gleich der Differenz der Polhöhen gewesen. Die astronomischen Beobachtungen ergaben jedoch eine Polhöhendifferenz von 54,6″. Der Unterschied von 11,6 Sekunden ist durch eine Verminderung der Polhöhe bei A um den Winkel PAQ und eine Vermehrung bei B um P′BQ′ hervorgerufen. PAQ + P′BQ′ = doppelte Ablenkung = 11,6 Sekunden.

Durch die Lösung derartiger Aufgaben trat die Astronomie in eine immer engere Beziehung zur Physik der Erde. Aber auch die reine Physik sollte durch die Bewältigung eines astronomischen Problems eine wichtige Förderung erhalten. Im 17. Jahrhundert hatte Römer auf astronomischem Wege eine physikalische Konstante, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nämlich, gefunden. Jetzt bot sich eine andere Gelegenheit, dieselbe Größe zu ermitteln und infolge der Übereinstimmung der auf verschiedenen Wegen erhaltenen Ergebnisse zu einem höheren Grade der Gewißheit zu gelangen.

Seit dem Bekanntwerden des koppernikanischen Systems war seinen Anhängern die Aufgabe gestellt, die Umdrehung der Erde

um die Sonne durch den Nachweis einer entsprechenden, scheinbaren, jährlichen Bewegung der Fixsterne darzutun. In vorstehender Abbildung bedeute ABCD die Erdbahn, S sei ein Stern, der sich in der Ebene der Ekliptik befinde. Steht nun der Durchmesser CA der Erdbahn zu dem Abstand ES des Sternes in einem nicht zu kleinen Verhältnis, so wird der Fixstern im Verlaufe eines Jahres am Himmel die scheinbare Bewegung S′ S″ S′ erkennen



Abb. 114. Bradley entdeckt die Aberration.

lassen. Beobachtungen an einem außerhalb der Ekliptik gelegenen Fixstern würden für diesen als scheinbare Bahn eine Kurve ergeben, deren Gestalt der von dem Sterne aus beobachteten Bahn der Erde genau entsprechen würde[1]). Der Winkel CSE, unter dem von dem Sterne aus der Halbmesser der Erdbahn erscheint, wird die jährliche Parallaxe des Sternes genannt. Tycho, welcher hinsichtlich der Genauigkeit seiner Messungen alle Vorgänger übertraf, mühte sich vergeblich ab, eine solche Parallaxe am Polarstern nachzuweisen, und erklärte insbesondere aus diesem Grunde dem koppernikanischen System seine Gegnerschaft. Letzteres war trotzdem zur unbestrittenen Herrschaft gelangt, ohne daß der geforderte, unmittelbare Nachweis der Umlaufbewegung bisher erbracht worden wäre.

Da die Schärfe der astronomischen Beobachtung seit den Zeiten Tychos sich vervielfältigt hatte[2]), so nahmen Hooke und Cassini das alte Problem wieder auf. Ersterer wählte für seine Messungen den in der Nähe des Nordpols der Ekliptik befindlichen Stern γ Draconis und wies nach, daß dieser Himmelskörper tatsächlich seine Stellung innerhalb eines Vierteljahres um 25 Sekunden änderte.

James Bradley (1692—1763), der nach dem Tode Halleys[3]) zum Direktor der Sternwarte zu Greenwich ernannt

[1]) Siehe Dannemann, Aus der Werkstatt großer Forscher, S. 354.

[2]) Die Instrumente gaben damals schon einzelne Sekunden an, während die Genauigkeit sich zur Zeit Tychos nur auf Minuten belief.

[3]) Halley starb im Jahre 1742.

worden war, stellte während der Jahre 1725—1728 zu dem gleichen Zwecke zahlreiche Beobachtungen an. Neben γ Draconis zog er indes auch andere Fixsterne in Betracht, die in der Ekliptik selbst oder zwischen dem Pole und der Ebene der Ekliptik liegen. Seine Beobachtungen ließen scheinbare Bewegungen erkennen, die zwar den Beweis für eine Bewegung der Erde um die Sonne lieferten, indes doch nicht als parallaktische betrachtet werden konnten. Während nämlich γ Draconis im Laufe eines Jahres eine nahezu kreisförmige Bahn von 40″ Durchmesser beschrieb, durchliefen die in der Ekliptik gelegenen Sterne in demselben Zeitraum zweimal eine Linie, welche unter demselben Winkel von 40″ gesehen wurde. Zwischen der Ebene und den Polen der Ekliptik befindliche Sterne endlich legten unterdessen Ellipsen zurück, deren große Achsen wieder 40″ maßen und der Ebene der Ekliptik parallel waren, während der Wert der kleinen Achsen zwischen 0″ und 40″ schwankte, je nachdem der betreffende Stern der Ekliptik oder ihrem Pole näher gelegen war[1]). Um diese scheinbaren Bewegungen auf eine Parallaxe zurückzuführen, hätte man, da in allen Fällen derselbe Wert von 40″ wiederkehrte, zunächst annehmen müssen, daß sämtliche Fixsterne gleich weit von der Erde entfernt seien. Dieser an sich schon unwahrscheinlichen Annahme widersprach aber die Tatsache, daß in B und D (siehe Abb. 114) der Stern nicht an demselben Orte gesehen wurde, wie es bei der parallaktischen Bewegung doch der Fall sein müßte. Bradley fand nämlich, daß, wenn die Erde sich in D befindet und sich in der Richtung Dd bewegt, der Stern nach S′ verschoben erscheint. Befindet sich die Erde dagegen in B, wo ihre Bewegungsrichtung die entgegengesetzte ist, so findet die Verschiebung nach S″ statt. In beiden Fällen erreicht der Wert dieser Verschiebung 20″, während in C und A, wo die Bewegungsrichtung der Erde mit derjenigen des von dem Fixstern kommenden Lichtes übereinstimmt, der Stern, falls er in der Ebene der Ekliptik liegt, an seinem wahren Orte gesehen wird.

Zur Erklärung dieser auffallenden Erscheinung soll Bradley durch eine alltägliche Beobachtung gelangt sein. Er bemerkte nämlich bei einer Bootfahrt, daß die Fahne die Windrichtung wirklich angibt, wenn der Lauf des Schiffes mit der Richtung des Windes übereinstimmt. Änderte man dagegen den Kurs, so nahm

[1]) Bradley, Account of a new discovered motion of the fixed stars (Phil. Transact. 1728).

die Fahne eine Stellung an, die sich als abhängig von den Richtungen und den Geschwindigkeiten des Windes und des Bootes erwies. Pflanzt sich, so folgerte Bradley, das Licht mit endlicher Geschwindigkeit fort, so muß sich letztere mit derjenigen der Erde zusammensetzen. Nebenstehende Abbildung 115 stellt uns das Parallelogramm dieser Geschwindigkeiten dar.

Zu der Zeit, in welcher sich die Erde in den Stellungen B und D (Abb. 114) befindet, beträgt ihre durch das Stück ab (Abb. 115) wiedergegebene Geschwindigkeit, wie überall auf ihrer Bahn, etwa 4 Meilen. Die Aberration erreicht dann ihren größten Wert von 20″, welcher dem Winkel acb beizulegen ist. In diesem Falle verhält sich bc zu ab wie die Geschwindigkeit des Lichtes zu derjenigen der Erde. Ist der eine dieser Werte bekannt, so ist der andere durch eine einfache Beziehung gegeben[1]). Bradley erhielt so für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, fast in Übereinstimmung mit dem von Römer gefundenen Ergebnis, den Wert von 40000 Meilen. Beide auf astronomischem Wege erhaltenen Bestimmungen fanden um die Mitte des 19. Jahrhunderts eine Bestätigung durch terrestrische, nach rein physikalischer Methode angestellte Messungen.

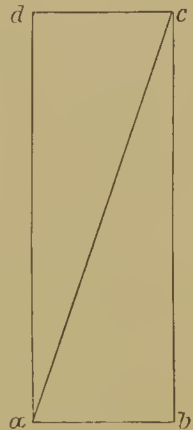


Abb. 115. Bradleys Erklärung der Aberration.

Bei Newton und den auf ihn folgenden Astronomen war das Hauptinteresse auf das Planetensystem gerichtet, für welches die Gravitationsmechanik zunächst noch eine Fülle von Problemen bot. Mit den Kometenbahnen hatte sich zwar Newton in seinen Prinzipien auch beschäftigt, doch war die von ihm geschaffene Methode noch sehr unvollkommen. Weitere Untersuchungen auf diesen Gebieten stellten Euler und ganz besonders Lambert an. Hatte Kepler für diese Himmelskörper noch eine geradlinige Bewegung angenommen, so lieferte Newton den Nachweis, daß es sich auch hier um einen Kegelschnitt handle. Er lehrte ferner, durch Konstruktion aus drei Positionen die parabolische Bahn ermitteln, ein Verfahren, dessen sich dann besonders Halley mit Erfolg bediente.

1) $\frac{bc}{ab} = \operatorname{cotg} 20''$; $bc = ab \cdot \operatorname{cotg} 20''$.

Die grundlegenden, geradezu klassischen Arbeiten über die Bestimmung der Kometenbahnen rühren jedoch von Lambert her, mit dessen Lebensgang und dessen Verdiensten um die Physik wir schon im vorigen Abschnitte bekannt geworden sind[1]). Lamberts Ziel bestand, wie er in seiner Vorrede hervorhebt, darin, die Bahn des Himmelskörpers auf Grund von drei Beobachtungen aus den Eigenschaften der Kegelschnitte vollständig zu entwickeln. Von besonderer Wichtigkeit ist der in der ersten Abhandlung bewiesene Satz[2]), daß die Zeit, die zum Durchlaufen eines Kurvenstücks erforderlich ist, aus der Sehne und den beiden Vektoren ermittelt werden kann. Für die Parabel hatte diesen Satz schon Euler gefunden[3]). Er erkannte jedoch noch nicht seine Bedeutung und hat ihn nicht bei seinen Arbeiten über die Bahnbestimmung benutzt, während Lambert ihn auf hyperbolische Bahnen ausdehnte.

Nachdem Lambert die parabolische Bewegung der Kometen erörtert hat, befaßt er sich mit dem Verfahren, eine parabolische Kometenbahn aus den Beobachtungen zu bestimmen. Genauer lautet das Problem, das er sich stellt, folgendermaßen[4]): Gegeben sind drei geozentrische Örter eines in einer Parabel sich bewegenden Kometen; man soll Lage und Größe der Bahn ermitteln. Die Lösung führte ihn auf eine Gleichung 6. Grades. Werden Lamberts Ausdrücke nach einer kleinen Berichtigung entwickelt, so gibt, wie der Herausgeber[5]) gezeigt hat, Lamberts Methode ein brauchbares Verfahren.

Unabhängig von Kant hat Lambert ferner Ansichten über den Bau des Weltalls ermittelt, die mit den Ergebnissen der neueren Forschung in gutem Einklang stehen. Es geschah dies in seiner 1761 erschienenen Schrift „Kosmologische Briefe über die Einrichtung des Weltbaus“. Lambert unterscheidet darin Weltsysteme erster, zweiter und dritter Ordnung. Ein System erster Ordnung bildet die Sonne und jeder Fixstern, indem alle Fixsterne als Zentren von ebensoviel Scharen von Planeten und Kometen betrachtet werden.

---

[1]) J. H. Lamberts Abhandlungen zur Bahnbestimmung der Kometen erschienen 1761, 1771 und 1772. Sie wurden neuerdings von J. Bauschinger als 133. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften herausgegeben. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1902.

[2]) Ostwalds Klassiker Nr. 133. S. 36.

[3]) Miscell. Berol. Tom. VII. pag. 20.

[4]) Ostwalds Klassiker Nr. 133. S. 65.

[5]) Ostwalds Klassiker Nr. 133. S. 141.

Das Sonnensystem kreist mit zahlreichen benachbarten Systemen um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt. Das so entstehende System betrachtet Lambert als ein solches zweiter Ordnung. Aus einer Anzahl der letzteren setzt sich endlich die Milchstraße als eine platte Scheibe von einem Durchmesser, der nach vielen tausend Siriusweiten zählt, zusammen. Vielleicht sei, meint Lambert, aber auch hiermit die Gliederung zu immer umfassenderen Gruppen nicht abgeschlossen, doch übersteige eine Fortsetzung dieser Betrachtung unser Fassungsvermögen.

Die etwa drei Jahrzehnte (1718) vor der Herausgabe der Kosmologischen Briefe durch Bradley entdeckte Eigenbewegung der Fixsterne würde sich, diesen Ausführungen Lamberts entsprechend, aus zwei Bewegungen zusammensetzen, der Bewegung der Sterne selbst und der von Lambert nur postulierten Bewegung unseres Sonnensystems. „Es wird später möglich werden", sagt Lambert, „diese beiden Komponenten zu trennen und die Richtung anzugeben, nach welcher unsere Sonne sich bewegt." Diese Voraussage sollte, wie wir in einem späteren Kapitel sehen werden, schon einige Jahrzehnte später (1781) durch Herschel in Erfüllung gehen[1].

Ganz Hervorragendes hat Lambert auch auf einem Nebengebiet der Astronomie, auf dem Gebiete der Kartographie, geleistet, so daß man für dieses mit dem Erscheinen von Lamberts Schrift über Land- und Himmelskarten wohl eine neue Epoche datiert hat. Die Schrift ist neuerdings mit Anmerkungen versehen von neuem herausgegeben worden[2]. Ihr erstes Erscheinen fiel in das Jahr 1772.

Zwar fehlte es vor Lambert nicht an Untersuchungen über einzelne Entwerfungsarten. Lambert gebührt jedoch das Verdienst, daß er zuerst die allgemeinen Grundsätze, die bei der Kartenprojektion in Betracht kommen, aufstellte und als erster diejenigen Forderungen, welche das Kartenbild zu erfüllen hat, erörterte. Im Verfolg dieser Aufgaben kam Lambert auch auf mehrere neue Projektionsarten, die noch heute im Gebrauch sind. Es sind dies vor allem die winkeltreue und flächentreue Kegelprojektion[3].

---

[1]) Siehe an späterer Stelle dieses Werkes.

[2]) J. H. Lambert, Anmerkungen und Zusätze zur Entwerfung der Land- und Himmelskarten. Herausgegeben von A. Wangerin als 54. Band von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1894.

[3]) Das Nähere hierüber siehe Ostwalds Klassiker Bd. 54. S. 24 u. 67.

Mit demselben Gegenstande hat sich einige Jahre später auch Leonhard Euler beschäftigt, der große deutsche Mathematiker, dem auch die sphärische Trigonometrie um die Mitte des 18. Jahrhunderts Fortschritte zu verdanken hat, die in erster Linie der Astronomie zugute kamen. Eulers Abhandlungen über Kartenprojektion[1]) gehen über die Behandlung, die Lambert dem gleichen Gegenstande widmete, weit hinaus und leiten andererseits zu den Untersuchungen über, die Lagrange und später Gauß[2]) über die konforme Abbildung von Flächen auf anderen Flächen angestellt haben.

Die erste Arbeit Eulers handelt von der Abbildung der Kugelfläche in einer Ebene, und zwar behandelt Euler nicht nur die Projektionen früherer Kartographen, bei welchen die einzelnen Punkte der Kugelfläche nach den Gesetzen der Perspektive so auf eine Ebene projiziert werden, wie sie dem Beobachter von einem bestimmten Punkte aus erscheinen, sondern er faßt seine Aufgabe in weiterem Sinne auf und zeigt, wie die Punkte der Kugelfläche nach einem beliebigen Gesetz in einer Ebene dargestellt werden können.

Unter anderem werden die Bedingungen der Mercatorschen Projektionsart entwickelt und dargetan, daß für diese die kleinsten Teile der Oberfläche ihren Bildern in der Ebene ähnlich sind, also das Prinzip der Konformität oder Winkeltreue gewahrt ist. Euler zeigte ferner, daß der größte Vorteil, welchen derartige Karten den Seefahrern gewähren, darin besteht, daß die loxodromischen Linien, d. h. die Kurven, welche sämtliche Meridiane unter dem gleichen Winkel schneiden, bei dieser Projektionsart als gerade Linien erscheinen. Jede gerade Linie schneidet nämlich alle Meridiane der Karte, die ja bei Mercators Projektion einander parallel sind, unter demselben Winkel.

Auch die bekannte Abbildung der Erdhalbkugeln im Innern von Kreisen, deren Mitte der Pol einnimmt, während die Meridiane und die Parallelkreise sich senkrecht schneiden, wird von Euler aus seinen allgemeinen Gleichungen abgeleitet und gezeigt, daß

[1]) Sie wurden 1777 in den Berichten der Petersburger Akademie der Wissenschaften veröffentlicht und neuerdings übersetzt und erläutert von A. Wangerin als 93. Band von Ostwalds Klassikern wieder herausgegeben. Leipzig, W. Engelmann, 1898.

[2]) Über Kartenprojektion. Abhandlungen von Lagrange (1779) und Gauß (1822). Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Bd. 55. Leipzig, W. Engelmann, 1894.

auch für diese Projektionsart alle sehr kleinen, auf der Kugel beliebig angenommenen, Figuren durch ähnliche Figuren in der Ebene wiedergegeben werden.

In der zweiten Abhandlung wird ein für die Darstellung besonders häufiger flächentreuer Entwurf aus den allgemeinen Bedingungen heraus erörtert, der Entwurf nämlich, bei welchem die Meridiane und die Parallelkreise als Kreise erscheinen.

Die letzte Abhandlung endlich erörtert die Projektionsart, welche De Lisle seiner Gesamtkarte des russischen Reiches zugrunde gelegt hat[1]), und zeigt, wie man die Fehler einer solchen nach De Lislescher Projektion entworfenen Karte möglichst verringern kann. Die genannte Projektionsart ist eine konische, d. h. ein Teil der Kugelzone wird derart auf einen Kegel übertragen, daß den Meridianen gerade Linien, den Parallelkreisen der Kugel aber Parallelkreise auf dem Mantel des Kegels entsprechen.

Nicht minder groß sind die Verdienste, die sich Euler um die wichtigste Hilfswissenschaft der Astronomie, die Trigonometrie, erworben hat. In seiner ersten Abhandlung über diesen Gegenstand (1753) stellte er sich die Aufgabe, wichtige Sätze der sphärischen Trigonometrie nach der Methode der größten und kleinsten Werte abzuleiten[2]).

Etwaige Bedenken gegen die Ableitung der sphärischen Trigonometrie aus den Regeln der Infinitesimalrechnung werden von Euler zurückgewiesen. Es sei immer von Nutzen, auf verschiedenem Wege dieselben Wahrheiten zu erreichen, weil aus diesem Verfahren sich stets neue Gesichtspunkte ergeben würden. Zur Notwendigkeit wurde aber die Anwendung der neuen Methode hier wie in allen übrigen Fällen, wenn man ein Problem ganz allgemein lösen wollte. Die bisher übliche Betrachtungsweise war auf das ebene und das sphärische Dreieck beschränkt. Wollte man dagegen Dreiecke untersuchen, die auf einer beliebigen, z. B. einer konoidischen oder sphäroidischen Fläche dadurch entstehen, daß man drei Punkte durch drei kürzeste, der betreffenden Oberfläche angehörende Linien verbindet, so war damit ein Problem gegeben, das sich nur mit den Mitteln der höheren Mathematik lösen ließ. Die Wichtigkeit einer solchen Begründung der Trigonometrie

[1]) Die Projektionsart rührt nicht von De Lisle, sondern von Mercator her, der sie schon 1585 benutzt hat.

[2]) L. Euler, Grundzüge der sphärischen Trigonometrie im 73. Bande von Ostwalds Klassikern in deutscher Übersetzung herausgegeben von E. Hammer. Leipzig, Verlag von W. Engelmann, 1896.

auf einer allgemeinen Auffassung leuchtet ein, wenn man bedenkt, daß die Messungen der Geodäten nicht auf einer Kugel, sondern, wie Euler hervorhebt, auf einer sphäroïdisch gestalteten Fläche geschehen. Wenn man die bei den Triangulationen erforderlichen Dreiecke recht groß wähle, so müsse man auf diesen Umstand auch Rücksicht nehmen. In der erwähnten Abhandlung leitet Euler nur die Formeln für die Kugeloberfläche mit Hilfe der Infinitesimalrechnung ab. Für andere Flächen, wie das Sphäroid (Umdrehungsellipsoid), wird diese Trigonometrie der kürzesten Linien (der Name sphärische Trigonometrie paßt ja nur für die Kugel) in einer späteren Arbeit behandelt[1]. Euler war auch der erste, der darauf hinwies, daß die ebene Geometrie aus der sphärischen hervorgeht, wenn man den Radius der Kugel unendlich groß werden läßt[2]. Sehr fruchtbar war auch sein Gedanke, die Seiten eines Dreiecks mit a, b, c und die entsprechenden Gegenwinkel mit A, B, C zu bezeichnen. Die trigonometrischen Formeln wurden dadurch so übersichtlich und neue Beziehungen wurden jetzt so leicht entdeckt, daß man diese Neuerung, die wir Euler zu verdanken haben, mit Recht wohl als das Ei des Kolumbus in dieser Sache bezeichnet hat[3]. Infolgedessen gelang es Euler, die trigonometrischen Formeln, die wir heute benutzen, mit Ausnahme der sogenannten Gaußschen Formeln[4] klar und übersichtlich darzustellen, teils auch zum ersten Male abzuleiten[5].

[1] Elemente der sphäroidischen Trigonometrie. Abhandlungen der Berliner Akademie. 1753. IX. 258—293.

[2] Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. II. S. 295.

[3] Zum Vergleich möge Eulers Schreibweise und die damals übliche Schreibweise des pythagoräischen Satzes für jedes beliebige ebene Dreieck hier stattfinden:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \text{ und}$$

$$\overline{BC}^q = \overline{AB}^q + \overline{AC}^q - 2AB \times AC \times \frac{\text{Cosin } BAC}{\text{sin. tot.}}.$$

[4] Sie wurden 1807 und 1808 durch Mollweide und durch Delambre zuerst bekannt gegeben.

[5] L. Euler, Allgemeine sphärische Trigonometrie in kurzer und durchsichtiger Entwicklung von den einfachsten Voraussetzungen ausgehend. Im 73. Bande von Ostwalds Klassikern übersetzt und herausgegeben von H. Hammer. Leipzig, W. Engelmann, 1896.

Nr. 19. Mineralogie und Geologie im 18. Jahrhundert.

Wesentlich bedingt durch die Fortschritte der Physik und der Chemie entwickelten sich im 18. Jahrhundert die Mineralogie und die Geologie auf der in der vorhergehenden Epoche durch Steno geschaffenen Grundlage weiter.

Die von Agricola begründete Lehre von den äußeren Kennzeichen bildete bei Linné zwar noch den Kernpunkt der mineralogischen Wissenschaft. Doch dürfen wir nicht vergessen, daß Linné auf diesem Gebiete kein Forscher war, sondern es nur seinem, alles umfassenden Natursystem einzugliedern suchte. Seine Begriffsbestimmungen erhoben sich kaum über die von Agricola aufgestellten; sie waren sogar weniger verständlich, da bei Linné Erläuterungen durch Beispiele, wie sie Agricola gegeben, fehlten[1].

Linné berücksichtigte die äußere Gestalt (würflig, säulenförmig, pyramidal), die Oberfläche (rauh, glatt), die innere Struktur (körnig, fasrig, blättrig), die Härte (am Stahl funkend, läßt sich schneiden, schreibt usw.) und endlich das optische Verhalten, (durchsichtig, gefärbt usw.). Der Kristallform schenkte man zu jener Zeit noch geringe Aufmerksamkeit. Linné suchte die an den Mineralien vorkommenden Kristallformen auf einige bekannte Salze (Kochsalz, Salpeter, Alaun, Vitriol) zurückzuführen. Dies war ein vergebliches Bemühen, zumal Linné sich von der sonderbaren Vorstellung leiten ließ, daß dasjenige Salz, mit dem ein Mineral in seiner Kristallform übereinstimmt, auch die Ursache für die Form des Minerals sei.

Ein wesentlicher Fortschritt bestand darin, daß man die Mineralien als Verbindungen erkannte und sie nach ihrer Zusammensetzung einzuteilen begann. Ein konsequent nach diesem Gesichtspunkt durchgeführtes System konnte sich indessen im

---

[1]) Caroli a Linné. Systema naturae 1768. Bd. III. S. 29 u. f.

18. Jahrhundert wegen des unfertigen Zustandes der Chemie noch nicht entwickeln. Durch das Handinhandgehen der Mineralogie mit der Chemie wurden aber im 18. Jahrhundert die wichtigsten Grundlagen für die Mineralchemie geschaffen. Die größten Verdienste um diesen Wissenszweig haben sich die schwedischen Forscher Cronstedt (1722—1765) und Bergmann (1735—1784) erworben.

Dem wichtigsten Instrument zur chemischen Untersuchung der Mineralien, dem Lötrohr, begegnet man gelegentlich schon im 17. Jahrhundert. Seine ausgedehnte, mit zahlreichen Kunstgriffen verknüpfte Anwendung verdankt man indessen Cronstedt. Er lehrte auf einem Stück Kohle eine kleine Probe des zu untersuchenden Minerals durch Hinaufblasen der Flamme und die Anwendung von Flußmitteln all den chemischen Prozessen unterwerfen, welchen die Erze beim Hüttenbetriebe im Schmelzofen unter der Wirkung des Gebläses ausgesetzt sind. Dabei lehrt aber die Behandlung der kleinen Probe hinsichtlich der Zusammensetzung des Minerals viel mehr kennen als die hüttenmännischen Prozesse, weil letztere der unmittelbaren Beobachtung viel weniger zugänglich sind. Arsen und Schwefel werden z. B. an dem Geruch ihrer bei der Verbrennung entstehenden Oxyde, Antimon am Beschlage erkannt. In der reduzierenden Flamme entstehen Blei, Silber, Kupfer, Eisen usw. Insbesondere lehrte Cronstedt auch auf die Färbung der Flußmittel achten, welche er der Probe vor dem Schmelzen zusetzte. Als Flußmittel gebrauchte er Borax, der z. B. durch Kobalt blau, durch Kupfer grün und durch Braunstein violett gefärbt wird, ferner dienten ihm als Ersatz für Borax in geeigneten Fällen Soda und Phosphorsalz[1]).

Der Schmelzfluß wurde auf der Kohle hergestellt, seine Herstellung am Platindrahte lernte man erst später kennen, nachdem der Gebrauch des Platins allgemeiner geworden war[2]). Ließ sich das Lötrohr auch für die quantitative Untersuchung der Mineralien nicht verwerten, so wurde es doch, wie wir sahen, in der Hand Cronstedts zu einem Hilfsmittel, das der Mineralchemie ebenso wertvolle Dienste leistete, wie sie die Kristallographie der Anwendung des Goniometers verdankt.

Um das weitere Eindringen in die chemische Natur der Mineralien zu ermöglichen, mußte sich zu dem Lötrohrverfahren oder

1) Natriumammoniumhydrophosphat, das man damals aus Harn darstellte.

2) Als Blech und Draht kam Platin erst seit 1772 in den Handel.

der Untersuchung auf trockenem Wege die Analyse des in den löslichen Zustand übergeführten Minerals gesellen. Nur auf diesem Wege ließen sich genauere quantitative Ermittlungen anstellen. Ihn mit Erfolg beschritten zu haben, ist vor allem das große Verdienst des schwedischen Chemikers Bergmann. Sein Verdienst um die noch heute herrschende Methode der qualitativen und der Gewichtsanalyse wird jedoch an anderer Stelle besprochen werden. Wir haben es hier nur mit der von Bergmann geübten Anwendung dieser Methode auf die Untersuchung der Mineralien zu tun. Hatte er das Mineral, das zuerst aufs feinste pulverisiert, gegebenenfalls auch durch Schmelzen mit Pottasche „aufgeschlossen" wurde, in einer Säure aufgelöst, so begann die qualitative Untersuchung durch Reagentien, die größtenteils noch heute gebraucht werden. Dann folgte die quantitative Bestimmung. Ihre Ergebnisse waren jedoch aus zwei Gründen recht ungenau. Einmal waren die Methoden der Gewichtsanalyse noch zu unvollkommen; ferner waren mitunter die Bestandteile der Mineralien, die Bergmann untersuchte, noch nicht sämtlich bekannt. So erblickte er im Rubin, der nur aus Tonerde besteht (Al_2O_3), eine Verbindung dieses Oxyds mit Kieselerde. Hyazinth dagegen, der aus Kiesel- und Zirkonerde zusammengesetzt ist, wurde für eine Verbindung von Kieselerde mit Ton- und Kalkerde angesehen, weil Bergmann die Zirkonerde noch nicht als eigentümliche Substanz erkannt hatte. Dies geschah erst durch Klaproth (1789), der sich ganz besonders bemühte, die Mineralchemie im Anschluß an Bergmann weiter auszubauen. Das Ergebnis der Untersuchungen von Scheele, Bergmann, Klaproth und anderen Chemikern des 18. Jahrhunderts, die ihre Wissenschaft mit der Mineralogie zu verknüpfen strebten, bestand darin, daß Werner, der zwar selbst kein Chemiker war, aber die Wichtigkeit der Zusammensetzung der Mineralien zu würdigen verstand, noch vor Ablauf des 18. Jahrhunderts ein mineralogisches System nach chemischen Gesichtspunkten aufstellte. Die Gruppierung der Mineralien nach „inneren Kennzeichen" war zwar schon früher versucht worden[1]. Doch war der Erfolg naturgemäß nur gering, solange nicht die Mineralanalyse der Systematik die Wege geebnet hatte und bevor man eine Scheidung zwischen Mineralien, Gesteinen und Versteinerungen durchzuführen wußte. Ein kurzer Überblick über das System Werners lehrt uns am besten den Standpunkt kennen,

[1]) Wallerius, 1768 ud 1778.

welchen die mineralogische Systematik um die Wende zum 19. Jahrhunderts eingenommen hatte.

In die erste Klasse wurden die in Wasser unlöslichen Oxyde der Nichtmetalle und die Silikate der Leichtmetalle, die selbst noch der Entdeckung harrten, gestellt. So begegnet uns in dieser Klasse, zu welcher übrigens auch der Diamant gerechnet wurde, das den Quarz ($Si O_2$) und viele Silikate umfassende Kieselgeschlecht. An dieses reihten sich das Tongeschlecht mit Korund (Al_2O_3), Feldspat, Glimmer, die ja beide Tonerde enthalten, und einige scheinbar homogene und daher noch als Mineralien betrachtete Gesteine, wie Basalt und Tonschiefer.

Als Salze (II. Klasse) werden in Wasser lösliche, dem Kochsalz ähnliche Mineralien zusammengefaßt, wie Alaun, Salpeter und Salmiak. Dann folgen als III. Klasse die brennbaren Mineralien (Schwefel, Bernstein, Steinkohle usw.).

Am besten bestimmt ist die IV. und letzte Klasse. Sie umfaßt die Schwermetalle und ihre Verbindungen. Eingeteilt wird sie in die silberhaltigen Erze (das Silbergeschlecht), die kupferhaltigen, bleihaltigen usw. Auf die Elemente, mit welchen die Schwermetalle verbunden sind, wird bei dieser Einteilung keine Rücksicht genommen. So umfaßt das Eisengeschlecht etwa folgende Mineralspezies.

1. Gediegenes Eisen Fe
2. Schwefelkies FeS_2
3. Magneteisenstein Fe_3O_4
4. Eisenglanz Fe_2O_3
5. Spateisenstein $FeCO_3$

usw.

Zu einem ähnlichen Mineralsystem war man um die Wende zum 19. Jahrhundert auch in Frankreich gelangt[1]. Diese Systeme mußten sich indessen in dem Maße, in welchem man in die chemische Konstitution der Mineralien eindrang, als unzulänglich erweisen. Schwefelkies, Eisenglanz und Eisenspat z. B. waren, trotzdem sie alle drei Eisen enthalten, in chemischer Hinsicht drei verschiedenen Gruppen zuzuweisen. Ferner griff auch die Erkenntnis Platz, daß die chemische Konstitution in manchen Fällen für die Kristallform bestimmend ist. Damit waren die wichtigsten Gesichtspunkte gegeben, nach denen sich die Systematik im 19. Jahrhundert, wie wir sehen werden, weiter entwickeln sollte.

[1]) Hauy, 1801.

Aus dem Bedürfnisse, die Mineralien auch ohne eingehendere chemische Analyse zu erkennen, entspringt die Kennzeichenlehre, die insbesondere auf der Verwendung des 1758 von Cronstedt eingeführten Lötrohrs beruht. Borax, Phosphorsalz und andere noch heute zur raschen Bestimmung gebräuchliche Hilfsmittel kommen in Aufnahme. Auch die Farbe und die Spaltbarkeit werden als wichtige Kennzeichen verwertet. Ebenso wird das spezifische Gewicht berücksichtigt, doch begnügt man sich zunächst mit dem bloßen Abschätzen des letzteren. Eine größere Beachtung fand diese physikalische Konstante erst, nachdem in Nicholsons Senkwage [1]) ein bequemes Mittel zur raschen Bestimmung des spezifischen Gewichtes an die Hand gegeben war. Seitdem Steno auf die Konstanz der Winkel hingewiesen, wandte man sich auch mit wachsendem Interesse dem an den Mineralien in die Erscheinung tretenden Formenreichtum zu. Dem französischen Forscher de l'Isle [2]) gelang es, die von Steno nur für einige Fälle nachgewiesene Regel in ihrer Allgemeingültigkeit zu erkennen. Als Meßinstrument bediente er sich hierbei des von seinem Gehilfen [3]) erfundenen Anlegegoniometers (siehe Abb. 116).

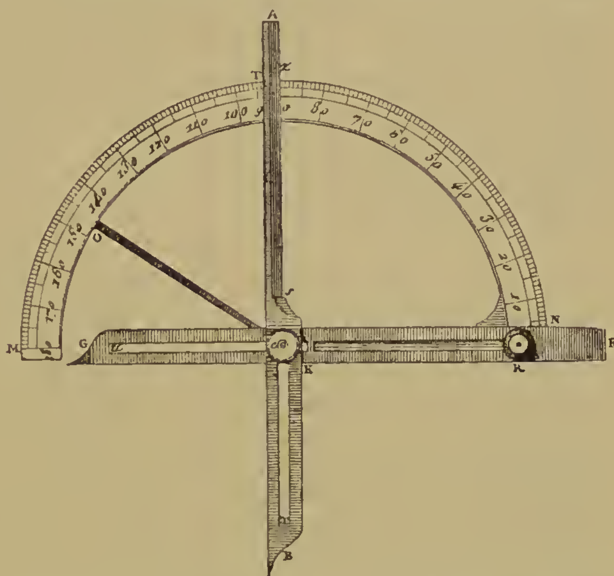


Abb. 116. Das von Romé de l'Isle gebrauchte Anlegegoniometer [4]).

GF und AB sind zwei Lineale, deren Abschnitte GC und BC je nach der Größe des zu messenden Objektes verlängert oder verkürzt werden können. MTN trägt den Gradbogen, AB wird um C gedreht. OC dient zur Stütze des Gradbogens. AB wird gedreht, bis die Schenkel BC und CG den sich schneidenden Kristallflächen genau anliegen. Der Kantenwinkel läßt sich dann auf dem Gradbogen ablesen.

[1]) W. Nicholson (1753—1815). Description of a new instrument of measuring the specific gravities of bodies. (Mem. Manchest. Soc. II. 1787.)

[2]) Romé de l'Isle, 1736—1790. Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral. Paris, 1783.

[3]) Namens Carangeot.

[4]) Hauy, Traité de Minéralogie. 1801. Bd. V., P. VIII, Fig. 77.

In seiner „Urgeschichte“ hatte Leibniz mit Nachdruck als Vorbedingung für die weitere Entwicklung der Geologie die gründliche Untersuchung der Beschaffenheit und des Verlaufs der Erdschichten gefordert. An die Lösung dieser Aufgabe machte sich unter hervorragendster Beteiligung Deutschlands das 18. Jahrhundert. Das Interesse für die geologischen Kräfte wurde in diesem Zeitraum auch durch zwei außergewöhnliche, elementare Vorgänge in hohem Grade angeregt, nämlich durch die Entstehung einer vulkanischen Insel (Santorin) inmitten des ägäischen Meeres und durch das furchtbare Erdbeben von Lissabon. Insbesondere das letztere rief eine wahre Flut von Schriften hervor[1]. Unter anderen hat sich auch Immanuel Kant mit diesem Naturereignis und seiner Ursache eingehend beschäftigt[2].

An die Entstehung von Santorin und die Bildung des Monte Nuovo bei Puzzuoli knüpfte Moro[3] seine Theorien über die Entstehung der Erde an. Moro unterscheidet die ursprünglichen Gesteine von den sekundären, geschichteten und läßt alle Inseln, Kontinente und Gebirge durch vulkanische Hebung entstehen. Auch Moros Landsmann Vallisneri[4] suchte die geologischen Erscheinungen auf natürliche Ursachen zurückzuführen. Er untersuchte[5] die marinen Ablagerungen, die sich zu beiden Seiten des Apennin befinden und wies die Verbreitung derartiger Ablagerungen auch für die übrigen europäischen Länder nach. So kam er zu der Erkenntnis, daß das heutige Festland früher Meeresboden gewesen sei, und daß sich die Versteinerungen führenden Schichten dereinst durch allmählichen Absatz bildeten und gleichzeitig die Überreste abgestorbener Organismen, unsere heutigen Petrefakten, einhüllten.

Während man anfangs alle leblosen Körper, welche der Schoß der Erde birgt, unter dem Namen Fossilien vereinigte, gelangte man im Laufe des 18. Jahrhunderts dazu, die Versteinerungen und die Felsarten von den eigentlichen, dem Auge gleichartig erscheinenden Mineralien zu trennen. Von jetzt an traten Versteinerungslehre und Geognosie der Mineralogie als selbständige

---

1) Zittel, Geschichte der Geologie und der Paläontologie, S. 64.

2) Kant, Geschichte der Naturbeschreibung des Erdbebens vom Jahre 1755. Die kleine Schrift erschien 1756.

3) Lazzaro Moro, 1687—1740.

4) Antonio Vallisneri (1661—1730) war Professor in Padua.

5) A. Vallisneri, Dei corpi marini che sui monti si trovano. Venezia, 1721.

Wissenszweige zur Seite. Mit großem Eifer wandte man sich in allen Kulturländern diesen neu erschlossenen Forschungsgebieten zu und begab sich an das gründliche Studium von Naturkörpern, denen man bisher neben der Tier- und Pflanzenwelt kaum Beachtung gezollt hatte. An den Universitäten wurden neue Lehrstühle errichtet. Gleich den Botanikern und dem Zoologen unternahmen jetzt auch Geologen Reisen zur Erforschung fremder Länder. Besondere Schulen wurden gegründet; so verdanken die Bergakademie in Freiberg und die École des mines in Paris ihren Ursprung der geschilderten Bewegung. Die erstere der genannten Anstalten gelangte rasch zu europäischer Berühmtheit durch die Tätigkeit eines Mannes, mit dem wir uns zunächst befassen müssen. Es ist dies der Deutsche Werner, der sich um die Kennzeichenlehre und die Geognosie besonders verdient gemacht hat. Bevor wir uns ihm zuwenden, müssen wir uns mit zwei anderen deutschen Geologen beschäftigen, die für Werners wissenschaftliche Tätigkeit die wichtigsten Grundlagen geschaffen haben, indem sie die geologische Spekulation beiseite setzten und eine gründliche, voraussetzungslose Durchforschung der Erdschichten unternahmen. Diese Männer waren Lehmann und Füchsel.

Lehmann[1]), der in Berlin und später in Petersburg Mineralogie und Chemie lehrte, veröffentlichte als ein Ergebnis zahlreicher Beobachtungen die erste genauere Untersuchung über die Zusammensetzung und die Lagerung der geschichteten Gebirgsglieder[2]). Er unterscheidet sie als „Flözgebirge“ von den „Ganggesteinen“, die früber entstanden seien und sich „in die ewige Teufe fortsetzen“. Bezeichnend ist nun, daß die ersten deutschen Geologen, die sich nicht auf Spekulationen beschränkten, sondern sich an die Erforschung der tatsächlichen Verhältnisse begaben, die Erdrinde ihrer Hauptmasse nach, den Granit und Basalt eingeschlossen, aus dem Wasser entstehen ließen, während man in Italien unter dem unmittelbaren Eindruck des Vulkanismus alles auf diese Kraft zurückzuführen suchte und sebst geschichtete Gesteine als Eruptionsprodukte betrachtete, wie es vor allem Moro tat.

[1]) J. G. Lehmann war Professor der Chemie und Mineralogie in Berlin Er starb 1767.

[2]) J. G. Lehmann, Versuch einer Geschichte der Flözgebirge. Berlin, 1756.

Lehmanns Arbeit gründet sich, wie die Betrachtungen von Leibniz und die eingehenderen Untersuchungen Füchsels, besonders auf die geologische Untersuchung des Mannsfelder, durch den Bergbau seit alters aufgeschlossenen Bodens. Lehmann unterscheidet 30 verschiedene Schichten und bedient sich dabei zum Teil noch heute üblicher Bezeichnungen, wie der Ausdrücke Zechstein, Kupferschiefer, Rottotliegendes.

Von dem zweiten Vorläufer Werners, dem Arzt Füchsel, rührt die erste scharf ausgeprägte Terminologie her. Von besonderer Wichtigkeit ist die durch ihn erfolgte Aufstellung des Begriffes der Formation. „Jeder einzelne Niederschlag", sagt Füchsel, „bildet eine Erdschicht oder Bank. Aber es gibt gegewisse Folgen von Schichten, die unter gleichen Verhältnissen unmittelbar nacheinander entstanden; solche Reihen bilden zusammen das, was wir eine Formation nennen, und eine solche Formation bezeichnet eine Epoche in der Geschichte der Erde." Die einzelnen Formationen kennzeichnete Füchsel durch das Vorhandensein von eigentümlichen Versteinerungen, den Leitfossilien.

G. Ch. Füchsel wurde 1722 in Ilmenau geboren und wirkte als Arzt in Rudolstadt. Dort starb er 1773. Über seine geologischen Untersuchungen berichtete er in seiner „Historia terrae et maris ex historia Thuringiae per montium descriptionem erecta 1762".

Er unterschied für Thüringen folgende neun Formationen:

1. Muschelkalk als das oberste Kalkgebirge,
2. Sandgebirge (Buntsandstein),
3. Den heutigen Zechsteindolomit,
4. Den Kupferschiefer,
5. Das Weißliegende,
6. Das rote Gebirge,
7. Dachschiefergebirge,
8. Steinkohlengebirge, das stellenweise auch in Thüringen zutage tritt.
9. Das Grundgebirge.

Füchsel stellte auch als erster in Deutschland eine geologische Karte der von ihm untersuchten Gegend her. Auch wußte er seine Beschreibungen durch deutliche Profile zu unterstützen. Seine Veröffentlichungen wurden zwar der Allgemeinheit wenig bekannt, doch sind sie es, auf welche Werner, der Linné der Geologie, sich insbesondere stützte.

Die gleichen Bestrebungen wie in Deutschland begegnen uns im 18. Jahrhundert in Frankreich. Dort untersuchte Guettard das Pariser Becken und gelangte zu dem Schlusse, daß dieses einst von Wasser bedeckt gewesen und durch die im Lauf der Zeit zu festem Gestein gewordenen Ablagerungen einmündender Flüsse ausgefüllt worden sei. Die Berge der Auvergne, wie den Puy de Dôme und den Mont Dore, erkannte Guettard als erloschene Vulkane.

Guettards[1]) Schrift über die Vulkane der Auvergne ist für die Entwicklung der Geologie von großem Einfluß gewesen, da sie den Blick der Geologen von den nur sporadisch vorkommenden tätigen Vulkanen auf die außerordentliche Bedeutung des Vulkanismus für längst abgelaufene Perioden der Erdgeschichte lenkte[2]). Daß die Kegel der Auvergne einst tätige Vulkane waren, schloß Guettard aus den lavaartigen Gesteinen und den Bimssteinmassen, welche sich dort zeigen. Für den Basalt vermochte er seiner scheinbar kristallinischen Regelmäßigkeit wegen den vulkanischen Ursprung nicht anzunehmen. Er hielt ihn vielmehr für eine Kristallisation aus einer wässrigen Lösung. Erst ein jüngerer Zeitgenosse und Landsmann Guettards erkannte die wahre Natur des Basaltes. Dies war Desmarest[3]). Er zeigte, daß der Basalt oft deutlich auf vulkanischer Asche lagert, daß er mitunter auch von dieser bedeckt wird oder allmählich in Lava übergeht. Wieder an anderen Stellen fand er den Basalt stromartig geflossen, so daß an seiner ursprünglich feurig-flüssigen Beschaffenheit nicht mehr gezweifelt werden konnte. Die gleiche Entstehungsart machte Desmarest auch für die älteren Massengesteine (Granit und Porphyr) wahrscheinlich.

Im Jahre 1746 veröffentlichte Guettard eine geognostische Karte, welche nicht nur den Aufbau Frankreichs, sondern auch denjenigen Englands und eines Teiles von Mitteleuropa zur Darstellung brachte. Diese Karte gibt nicht nur über das Vorkommen von Gesteinen und Mineralien Auskunft, sondern es sind auf ihr

[1]) Jean Etienne Guettard wurde 1715 geboren und war Verwalter einer naturgeschichtlichen Sammlung. Er machte zahlreiche Reisen und starb 1786 in Paris.

[2]) Mém. Acad. roy. des Sciences pour 1752. S. 27. Sur quelques montagnes de la France qui ont été Volcans.

[3]) Nicolas Desmarest, 1725 geboren und 1815 als Leiter der Porzellanfabrik zu Sèvres gestorben. Er reiste viele Jahre, um Frankreich und Italien geologisch zu durchforschen.

auch die wichtigsten Bergwerke und Mineralquellen, sowie Fundorte von Versteinerungen verzeichnet, so daß sie noch heute mit Vorteil gebraucht werden kann [1]).

Später vereinigte sich Guettard mit Lavoisier in der Absicht, gemeinschaftlich mit diesem einen mineralogisch-geognostischen Atlas von Frankreich herauszugeben. Es erschienen zwar eine größere Anzahl von Blättern, doch blieb das Unternehmen unvollendet.

Eine eigenartige Stellung in der Geschichte der Geologie nimmt der Franzose Buffon, der geistreichste Naturforscher des 18. Jahrhunderts, ein. Buffon [2]) (1707—1788), dessen Lebens- und Entwicklungsgang an anderer Stelle geschildert werden soll, hat die Geologie weniger durch neue Beobachtungen bereichert, sondern sich durch die Art, wie er die bis dahin bekannt gewordenen Tatsachen zusammenzufassen und mit neuen Gedanken zu verknüpfen verstand, ein Verdienst um diese Wissenschaft erworben. Durch Buffon wurde die Geologie mit einer vor ihm nicht anzutreffenden Klarheit als die in langen Zeiträumen sich abspielende Geschichte unseres Planeten dargestellt. Die Planeten sind nach Buffon aus der Sonne hervorgegangen. Die Loslösung der Planeten vom Zentralkörper erfolgte nach der allerdings unhaltbaren Hypothese Buffons durch den Zusammenstoß der Sonne mit einem Kometen.

Um ein Urteil über die Dauer der gesamten Erdgeschichte zu gewinnen, stellte Buffon zahlreiche Versuche über die Abkühlung glühender Kugeln von verschiedenem Durchmesser an. Aus den Ergebnissen dieser Versuche berechnete er, daß sich die Erdkugel in etwa 75 000 Jahren von ihrer anfänglichen bis zu ihrer heutigen Temperatur abgekühlt habe. Es ergaben sich daraus für die einzelnen Perioden der Erdgeschichte Zeiträume [3]), die nach den heutigen Begriffen der Geologen als viel zu gering erscheinen. Während des ersten Zeitraumes, den Buffon auf 35 000 Jahre bemessen zu dürfen glaubte, schieden sich infolge einer unregelmäßigen Zusammenziehung der äußeren Rinde die Festlandsmassen von den Meeresbecken. Aus der gleichen Ursache und durch Gasentwicklung im Innern des Erdkörpers entstand das Urgebirge. Während im Uranfange das Wasser die Erde als eine Dunstmasse umgab, verdichtete es sich mit der fortschreitenden Abkühlung.

---

1) Zittel, Geschichte der Geologie. S. 56.
2) George Louis Leclerc de Buffon.
3) Buffon, Epoques de la Nature 1778.

Die dritte Periode beginnt daher mit der Entstehung des Urmeeres, aus dem nur die Gipfel der Urgebirge hervorragten. Das heiße Wasser des Urmeeres besaß in hohem Grade die Fähigkeit, feste Bestandteile der Erdoberfläche zu zersetzen und aufzulösen. Allmählich sonderten sich aus dieser Lösung diese Bestandteile als Ton, Schiefer und Sand in parallelen, dem Urgebirge auf und angelagerten Schichten wieder ab. Das Meer bevölkerte sich schließlich infolge der weiteren Abkühlung mit lebenden Wesen, deren Gehäuse gleichfalls zur Bildung der Schichten beitrugen. Die fortschreitende Änderung der Lebensbedingungen bewirkte, daß auch die Lebewelt ihren Charakter ununterbrochen durch das Aussterben von Arten und die Entstehung neuer Arten änderte. Aus den Überresten von zusammengeschwemmten Pflanzen entstanden in dieser Periode auch die Steinkohlen führenden Schichten.

Während der nun folgenden (vierten) Periode entwickelte sich durch das Eindringen größerer Wassermengen in das heiße Erdinnere eine gewaltige vulkanische Tätigkeit, durch welche der bisherige Aufbau der Erdkruste sehr gestört und die Lage der Schichten in mannigfacher Weise geändert wurde. Die heutigen Eruptionen und Erdbeben betrachtet Buffon als die verhältnismäßig unbedeutenden Nachwehen des gewaltigen Kampfes der Elemente, der in jener Periode wütete.

Während des folgenden Zeitraumes näherten sich die irdischen Zustände den heutigen. Gewaltige Landsäugetiere entstanden unter höheren Breiten, als die Lebensbedingungen in der Nähe der sehr heißen Äquatorialzone noch ungünstig waren. Die Flora und die Fauna drangen daher von den Polargegenden allmählich in die niederen Breiten vor, während in der Verteilung von Wasser und Land nur noch geringe Änderungen stattfanden. So löste sich in dieser, mit dem Erscheinen des Menschen ihren Abschluß findenden Periode Großbritannien von Frankreich. Es entstand die Ostsee, und in den außereuropäischen Teilen der Erde fanden ähnliche lokale Verschiebungen statt, unter denen Buffon die Entstehung der Sundainseln und der Antillen aus Teilen der benachbarten Festländer erwähnt.

Es ist eine Fülle von neuen Gedanken, die uns in Buffons Darstellung der Epochen der Natur begegnen, Gedanken, die in ihrer ganzen Bedeutung zum Teil erst spätere Generationen gewürdigt haben.

Während Buffon wie kein anderer Forscher des 18. Jahrhunderts die Geologie als Ganzes darzustellen wußte, bemühten

sich andere Männer die Grundlagen dieser Wissenschaft durch eindringende Beobachtung der Einzeltatsachen immer mehr zu befestigen. Unter ihnen sind Pallas als Erforscher außereuropäischer Länder, Saussure wegen seiner Begründung des wissenschaftlichen Alpinismus und Werner zu nennen, der die von Lehmann und Füchsel begonnene genauere Untersuchung der einzelnen Formationsglieder fortsetzte.

Pallas[1]) wurde 1741 in Berlin geboren. Er studierte Medizin und Naturwissenschaften und wurde in noch jugendlichem Alter an die Petersburger Akademie berufen und von Katharina II. mit der Leitung einer Forschungsreise nach Sibirien betraut (1768—1774). Nach seiner Rückkehr veröffentlichte Pallas ein Reisewerk über das nördliche Asien, das alle bisher erschienenen Reisewerke in bezug auf Reichtum an neuen Beobachtungen in den Schatten stellte. Pallas starb 1811 in Berlin.

Das Hauptergebnis seiner Durchforschung Sibiriens war die Beobachtung, daß der Boden dieses Landes in seinen oberflächlichen, aus Ton, Mergel und Pflanzenresten bestehenden Teilen mit den Knochen großer Landsängetiere förmlich durchsetzt ist. Die Erklärung, welche Pallas dieser Tatsache gab, war wenig stichhaltig. Sie hat trotzdem der phantastischen, bald darauf von Cuvier aufgestellten Katastrophentheorie als Grundlage gedient. Aus dem vulkanischen Charakter der Südsee, die ihm „über einem einzigen vulkanischen Gewölbe zu stehen“ schien und aus der Beschaffenheit der sibirischen Ebene folgerte Pallas nämlich, die Gewässer des Stillen Ozeans seien durch vulkanische Kraft nach den Polen gedrängt worden und hätten zahllose Pflanzen und Tiere der tropischen Länder dorthin geschwemmt und im Schutt der Gebirge begraben.

Kamen die Forschungen von Pallas auch in erster Linie der Zoologie, der Botanik und der Ethnographie zugute, so ist doch auch in geologischer Beziehung manche genaue Beobachtung und treffende Ansicht auf ihn zurückzuführen. Die Meinung Buffons, daß das Urmeer fast bis zu den Gipfeln der ältesten Gebirge gereicht habe, wies Pallas zurück. Nach ihm fand die Erhebung der geschichteten Gesteine bis weit über das Niveau des Meeres hinaus durch vulkanische Kräfte statt. Pallas verstand es aus der Störung der Schichten und ihren Lagerungsverhältnissen Schlüsse auf das relative Alter der Gebirge zu ziehen und z. B. begreiflich

1) Simon Peter Pallas.

zu machen, daß die Alpen einem relativ jungen gebirgsbildenden Vorgang ihren Ursprung verdanken.

Fast ausschließlich der Erforschung der Alpen widmete sich Horace Benedicte de Saussure in vieljähriger, mühevoller Tätigkeit. Saussure wurde 1740 in Genf geboren und bekleidete dort eine Professur. Im Jahre 1787 führte er zu wissenschaftlichen Zwecken die erste Besteigung des Montblanc aus[1]). Er starb 1799. Als Ergebnis seiner alpinistischen Untersuchungen, die sich nicht nur auf die geognostischen, sondern auch auf die biologischen, meteorologischen und physikalischen Verhältnisse des Hochgebirges erstreckten, veröffentlichte er ein umfangreiches Werk[2]).

Saussure erkannte, daß der Kern der Alpen aus Urgestein (Gneiß und Granit) besteht, und daß sich an dieses geschichtete, zunächst auch noch versteinerungslose Gebirgsglieder anlehnen. Hervorzuheben ist, daß Saussure, obgleich er die wissenschaftliche Erforschung der Gletscher begann, die Findlingsblöcke und andere glaziale Gebilde doch nicht als solche erkannte, sondern sie im Sinne der Katastrophentheorie als Zeugen plötzlich auftretender Gewalten, z. B. eines Zusammenbruchs von Gebirgsmassen, auffaßte. Wertvoll war dagegen sein Nachweis, daß die Westalpen nicht durch vulkanische Tätigkeit gehoben sein können, da sich nirgends Spuren einer solchen finden. Über die eigentliche Ursache der Gebirgsbildung blieb er jedoch die Auskunft schuldig.

Erwähnt sei noch, daß Saussure seine geologischen Untersuchungen mit Forschungen über die Schneegrenze, über die Wärmezunahme im Erdinnern und die Verbreitung der Pflanzenwelt nach Höhenzonen zu verknüpfen wußte. In letzterer Hinsicht hat er den pflanzenklimatologischen Untersuchungen vorgearbeitet, die später von Humboldt am Pik von Teneriffa und in Südamerika anstellte.

In dem Maße, wie die Kenntnis der Gesteins- oder Gebirgsarten wuchs, nahm die bei ihrer Anordnung und Benennung einreißende Verwirrung zu. Diesem Zustande machte Werners erstes systematisches Lehrbuch der Geognosie ein Ende. Es erschien im Jahre 1787 und führt den Titel: „Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten“.

Abraham Gottlob Werner wurde am 25. September 1750 in einem kleinen Orte der Oberlausitz geboren. Sein Vater ver-

[1]) De Saussure, Rélation d'un voyage à la cime du Montblanc en août 1787. Er ermittelte die Höhe des Montblanc zu 2426 Toisen.

[2]) Voyage dans les Alpes. 1779—1796. 4 Bde.

waltete ein Eisenhüttenwerk und besaß eine Mineraliensammlung, welche den Knaben in hohem Grade fesselte. Seit dem Jahre 1775 bekleidete Werner ein Lehramt an der Bergakademie in Freiberg[1]).

In den von ihm vertretenen Gebieten nahm er bald eine ähnliche Stellung ein, wie sie um dieselbe Zeit Linné in der Reihe der Botaniker und Zoologen besaß. Beide Männer wirkten vorzugsweise als Lehrer und Systematiker. Sie verstanden es, für ihre Wissenschaft zu begeistern und ihr eine Schar von Anhängern zuzuführen, während die durch eigenes Forschen aufgefundenen Ergebnisse sich in bescheideneren Grenzen hielten. Bei Werner, wie bei Linné, entwickelte sich ferner eine gewisse Einseitigkeit, wodurch die weitere Gestaltung der Wissenschaft infolge des außerordentlichen Ansehens, das beide Männer genossen, mitunter ungünstig beeinflußt wurde.

Da Werners Buch über die Fossilien[2]) besonders geeignet ist, um uns mit dem Standpunkt, den die Mineralogie um die Mitte des 18. Jahrhunderts einnahm, bekannt zu machen, da es aber auch, wie selten eine Schrift, den Fortschritt dieser Wissenschaft bedingt hat, so wollen wir uns mit seinem Inhalt näher beschäftigen.

Unter Fossilienkunde versteht Werner das, was wir heute als Mineralogie bezeichnen. Sie ist ihm nicht nur ihres Nutzens wegen, sondern weil auf ihr die „Lehre von den Gebirgen" (Petrographie) und die „mineralogische Geographie" (Geologie) beruhen, von besonderer Wichtigkeit.

Als den Begründer der neueren Mineralogie haben wir den Deutschen Agricola (Bauer) kennen gelernt[3]). In den auf Agricola folgenden zwei Jahrhunderten waren die Fortschritte dieser Wissenschaft jedoch gering. Ein erneutes Aufblühen begann um 1730, also etwa 40 Jahre vor dem epochemachenden Auftreten Werners. Zwischen den Mineralogen des 18. Jahrhunderts war eine gewisse Scheidung eingetreten. Die einen gründeten ihre Wissenschaft ausschließlich auf die äußerlichen Kennzeichen der Mineralien, während andere die wichtigste Aufgabe in der Zerlegung der Mineralien in ihre Bestandteile erblickt. Eine vermittelnde Richtung wollte Gruppen von Mineralien nach der Art

---

[1]) Ein Jahr vorher war sein erstes Werk unter dem Titel „Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien" erschienen.

[2]) Werner, Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien.

[3]) Georgius Agricola, De natura fossilium. Basileae 1546.

ihrer Zusammensetzung bilden. Für die Bestimmung der Mineralspezies innerhalb dieser Gruppen sollten aber die äußerlichen Kennzeichen maßgebend sein[1]. Werner dagegen hielt es für das Natürlichste die systematische Gliederung des Mineralreichs ausschließlich nach der chemischen Zusammensetzung vorzunehmen, weil darin die wesentliche Verschiedenheit der Mineralien liege. Wenn sein Buch trotzdem in erster Linie von den äußerlichen Kennzeichen handelt, so liegt darin kein Widerspruch. Denn, sagt Werner, die Mineralien in ein System bringen und nach Mitteln suchen, um die einzelnen Mineralspezies rasch und sicher zu erkennen, sind zwei verschiedene Dinge. Zudem war die Chemie noch zu unentwickelt, um für das von Werner gewünschte System schon eine ausreichende Grundlage zu bieten. Es lag daher näher, zunächst die Lehre von den äußeren Kennzeichen der Mineralien durch eingehende Erforschung und scharfe Begriffsbestimmung zu vervollkommnen. Hierin bestand denn auch vor allem Werners Reformwerk. Recht treffend bemerkt er, er wolle lieber die Mineralien schlecht geordnet und gut beschrieben als gut geordnet und schlecht beschrieben haben.

Werner unterscheidet äußere, innere und physikalische Kennzeichen. Die inneren oder chemischen Kennzeichen sind ihm aus manchen Gründen unbequem. Ihre Ermittlung erfordere viele Vorkehrungen und setze voraus, daß der Mineraloge gleichzeitig ein geschickter Chemiker sei. Bei der chemischen Untersuchung gehe ferner die Substanz, da man sie zerlegen müsse, verloren. Unter den physikalischen Kennzeichen versteht Werner das Verhalten der Mineralien gegen andere Körper, insbesondere magnetische und elektrische Wirkungen. Da diese nur vereinzelt vorkommen, bleiben als wichtigste die äußeren, durch unsere Sinne wahrnehmbaren Kennzeichen übrig.

Am ausführlichsten behandelt Werner die Farbe. Sie sei zwar allein nicht hinreichend, um die Mineralien zu unterscheiden, das seien aber alle übrigen Eigenschaften einzeln genommen auch nicht, nur die Summe aller Eigenschaften bestimme den Begriff eines Minerals[2]. Werner unterscheidet acht Hauptfarben: Weiß, Grau, Schwarz, Blau, Grün, Gelb, Rot und Braun. Für jede Hauptfarbe werden, unter Anführung eines typischen Minerales, eine

[1] Wallerius, De systematibus mineralogicis et systemata mineralogico rite condendo. 1768.

[2] Werner, a. a. O. S. 89.

Anzahl Abstufungen unterschieden. Beim Gelb z. B. unterscheidet Werner:

1. Schwefelgelb (Schwefel),
2. Speißgelb (Schwefelkies),
3. Weingelb (Topas vom Schneckenstein),
4. Goldgelb (Gold) usw.

Jede dieser Abstufungen wird nicht nur durch ein oder mehrere Beispiele gekennzeichnet, sondern außerdem noch genau beschrieben. Goldgelb, sagt Werner z. B., ist eine metallische, hohe, gelbe Farbe, in welcher keine Beimischung einer anderen wahrzunehmen ist usw.

Werner schuf dann die für die äußere Gestalt (den Habitus) noch heute üblichen Bezeichnungen, indem er Ausdrücke wie „derb, eingesprengt, angeflogen, gestrickt, dendritisch“ usw. so scharf umschrieb, daß sie für eine wissenschaftliche Terminologie zweckdienlich wurden.

Die Kristallform findet zwar schon eine ausgedehntere Berücksichtigung, doch ist Werner von einer wissenschaftlichen Kristallographie noch weit entfernt. Er unterscheidet eine Reihe von Grundgestalten, wie die Säule, die Pyramide, die Tafel, die Achtflächner (Würfel und Rhomboeder). Diese werden nach ihm durch Abstumpfung, Zuschärfung und Zuspitzung verändert. Abgestumpft nennt er z. B. einen Kristall, wenn „einige oder alle“ seine eigentlichen Ecken oder Kanten wie abgeschnitten sind. Daß am Bleiglanz und am Kalkspat ein großer Formenreichtum vorkommt, wird nur nebenbei erwähnt[1]. Auch geht aus Werners Beschreibungen hervor, daß er charakteristische Formen, wie das Pentagondodekaeder am Schwefelkies, ebensowenig näher untersucht hat wie seine Vorgänger[2].

Wie gering auf dem Gebiete der Naturbeschreibung noch das Bedürfnis nach wissenschaftlicher Genauigkeit war, geht aus der ganzen Art hervor wie Werner das so wichtige, die größten Verschiedenheiten aufweisende Kennzeichen der Schwere berücksichtigt. Von der so einfachen Bestimmung des spezifischen Gewichtes mittelst der hydrostatischen Wage heißt es[3]: „Dieser Versuch ist in der Mineralogie unbrauchbar. Denn wie ist es möglich, die dazu nötigen Werkzeuge gleich bei der Hand zu

1) Werner, Von den äußeren Kennzeichen der Mineralien. S. 197.
2) v. Kobell, Geschichte der Mineralogie. S. 93.
3) Werner, a. a. O. S. 274.

haben, und in welchem Kabinette würde es einem Mineralogen erlaubt sein, mit den Erzstufen dergleichen Versuche anzustellen? Hier müssen wir uns unserer Gliedmaßen bedienen, indem wir das Mineral in die Höhe heben. Unser Gefühl muß uns dann sagen, wie groß, unter Berücksichtigung des räumlichen Umfanges, den wir nach Augenmaß beurteilen, seine verhältnismäßige Schwere ist.“ Diesem noch ganz unwissenschaftlichen Verfahren entspricht es denn auch, wenn Werner sich bei seinen Beschreibungen der Angaben leicht, nicht sonderlich schwer, schwer und außerordentlich schwer bedient.

Nur ganz nebenbei wird auch das chemische Verhalten herangezogen. So empfiehlt Werner den Nachweis von Kupfer durch Ammoniak (blaue Farbe der Lösung), das Betupfen mit Säure, um kohlensaure Salze nachzuweisen usw.

Zum Schluß sei als ein Beispiel, wie Werner die Mineralien beschreibt, seine Beschreibung von Fraueneis (Gips) hierhergesetzt:

Es ist von hellweißer Farbe;
derb;
hat eine unebene Oberfläche;
ist äußerlich kaum schimmernd;
inwendig stark glänzend;
besteht aus großen ebenen Blättern;
springt in rautenförmige Stücke;
ist durchsichtig;
sehr weich;
in dünnen Scheiben etwas elastisch-biegsam;
klingt ein wenig;
ist mager;
etwas kalt anzufühlen;
nicht sonderlich schwer.

Mag uns auch heute das von Werner für den wissenschaftlichen Ausbau der Mineralogie Geschaffene nur dürftig erscheinen, sein Reformwerk hatte doch den glänzendsten Erfolg und bewirkte, daß die Mineralogie schon unter seinen Schülern (Breithaupt, Weiß u. a.) eine achtunggebietende Stelle unter den Wissenschaften einnahm. Als Geognosie bezeichnet Werner „die Wissenschaft, die uns den festen Erdkörper überhaupt kennen lehrt, und uns mit den verschiedenen Lagerstätten der Fossilien, aus welchen die Erde besteht, und mit ihrer Erzeugung und ihrem Verhalten gegeneinander bekannt macht“.

Obgleich durch verschiedenartige Zusammenstellung der Mineralien, von denen schon Werner über 200 kannte, sich eine unbegrenzte Zahl von Mischungen ergeben würde, fand sich, daß die Verschiedenheit der Gebirgsarten durchaus nicht ins Unendliche geht und daß die meisten sehr ausgezeichnet und leicht bestimmbar sind. „Es ist wahrscheinlich", sagt Werner, „daß wir den größten Teil der Gebirgsarten schon kennen, da diejenigen der entferntesten Länder insgemein mit den uns bekannten übereinstimmen[1])". Sämtliche Arten werden sodann in fünf Formationsgruppen eingeteilt, die Werner als Urgebirge, Übergangsgebirge, Flözgebirge, aufgeschwemmtes Gebirge und vulkanische Gesteine unterscheidet.

Zu der ersten Gruppe werden Granit, Gneiß und Glimmerschiefer gerechnet. „Uranfänglich" nennt Werner diese Gesteine, weil sie gleichsam den Kern der Gebirge vorstellen und sich in das Innere der Erde erstrecken. Auch der Mangel an Versteinerungen ist ihm charakteristisch für diese Bildungen.

Im Übergangsgebirge, das vorzugsweise aus Tonschiefer und Grauwacke besteht, begegnen uns die ersten Versteinerungen.

Als Flözgebirge bezeichnet Werner Muschelkalk, Sandstein, rotes Totliegendes, Basalt, Steinkohle, Steinsalz und Gips. Es ist ihm wahrscheinlich, daß diese Gesteine aus Gliedern der älteren Gruppe hervorgegangen sind, die ihrerseits wieder durch Kristallisation aus wässriger Lösung entstanden sein sollten. Eigentümlich ist ihm für das Flözgebirge das Vorhandensein von Versteinerungen, sowie die Erscheinung, daß seine Gesteine meist innerhalb desselben Gebirgsstockes in Lagen miteinander wechseln, während ein uranfängliches Gestein an dem Aufbau eines Gebirges in der Regel ausschließlich oder auf weite Erstreckung beteiligt sei.

Die Verwitterungsprodukte der genannten Gesteine endlich bezeichnet Werner als aufgeschwemmtes Gebirge, das entweder als Seifen aus Kiesel und Sand die Täler füllt oder die alles bedeckende Schicht des niedrigen Landes bildet.

Die Anschauungen, welche Werner über die Natur und den Ursprung der vulkanischen Gesteine entwickelte, haben dem Fortschritt der geologischen Wissenschaft gegenüber keinen Stand halten können. Er betrachtete sie nämlich als jüngste Produkte, die aus den sedimentären Gesteinen durch die Wirkung brennender Kohlenflötze umgeschmolzen seien. Von dem Basalt, dessen feurig flüssiger Ursprung durch die Untersuchungen französischer Geo-

---

[1]) Werner, a. a. O. in der Einleitung.

logen als zweifellos dargetan worden war, behauptete Werner, dies Gestein sei nassen Ursprungs; es habe einst ein ungeheuer weit verbreitetes Lager ausgemacht, das größtenteils wieder zerstört worden sei und die zerstreuten Basaltkuppen als Überreste zurückgelassen habe.

Diese Ansicht Werners wurde von einem seiner Schüler[1]) angegriffen, und alsbald erhob sich in Deutschland eine erbitterte wissenschaftliche Fehde zwischen den Anhängern Werners, den „Neptunisten“, und ihren Gegnern, den „Vulkanisten“. Es ist bekannt, daß selbst Goethe, wie aus zahlreichen Stellen seiner Werke hervorgeht, an dieser Streitfrage lebhaften Anteil nahm.

Auch gegen die neue, von Pallas und Saussure verfochtene Lehre, daß die Gebirge und ausgedehnte Teile der Erdoberfläche emporgehoben worden seien, wandte sich Werner. Nach seiner Meinung änderte sich das Niveau des Weltmeeres und, indem die gewaltigen Wassermassen von den Kontinenten abflossen, schufen sie durch ihre erodierende Tätigkeit die Unebenheiten der Erdoberfläche. Dieser Irrtum Werners wurde durch seinen hervorragendsten Schüler, von Buch, widerlegt.

Die erwähnten Einseitigkeiten und Irrtümer Werners erklären sich besonders aus dem Umstande, daß dieser Forscher seine Lehren auf Beobachtungen aufbaute, die sich auf das Erzgebirge und die angrenzenden Teile von Böhmen und Sachsen beschränkten, während die französischen Geologen und die jüngere, von Werner vorgebildete Generation deutscher Forscher zunächst Italien und bald darauf auch das übrige Europa und die außereuropäischen Erdteile geologisch untersuchte und mit der Ausdehnung des Gesichtskreises zu allgemeineren und richtigeren Ansichten kam. Werners Verdienst wird dadurch nicht geschmälert. Es besteht für die Geologie wie für die Mineralogie darin, eine „feste Terminologie eingeführt und dadurch eine klare Darstellung der Beobachtungen ermöglicht zu haben“[2]).

Bevor wir uns den jüngeren Geologen zuwenden, müssen wir uns mit dem Manne befassen, der am meisten zum Sturz der einseitig „neptunistischen“ Lehre Werners beigetragen hat. Es ist das der Schotte Hutton. James Hutton wurde 1726 in Edin-

[1]) Dieser namens K. W. Voigt sammelte in der Rhön eine große Anzahl von Beobachtungen, die auf das Deutlichste gegen den neptunischen Ursprung des Basalts sprachen.

[2]) Zirkel, Geschichte der Geologie. S. 90.

burg geboren. Er studierte in seiner Vaterstadt und in Paris, wirkte als Privatgelehrter und starb 1797. Hutton war ein unvergleichlicher Beobachter und ein nüchterner, scharfer Denker. Seine, streng induktiv begründeten, geologischen Ansichten entwickelte er zuerst im Jahre 1785. Ausführlich legte er sie in der 1795 erschienenen „Theorie der Erde“ dar[1]).

Seine Beobachtungen stellte Hutton in England, Frankreich und vor allem in Schottland an. Dort untersuchte er im Grampiangebirge die Grenze zwischen dem Granit und den benachbarten Gesteinen. Dabei machte er die wichtige Entdeckung, daß von einem Granitstock mitunter Gänge ausgehen, welche das Nebengestein durchsetzen, und letzteres an den Stellen, wo der Granit es berührt, oft wesentlich verändern. Hutton schloß daraus, daß der Granit und der sich ähnlich verhaltende Porphyr eruptiv und jünger als die durchsetzten Schichten seien. Er beobachtete ferner, daß die von ihm als ursprünglich feurig-flüssig angesehenen Gesteine sich mitunter auch zwischen die Schichten sedimentärer Gesteine ergossen haben und daher irrtümlich für flözartige Bildungen angesehen wurden.

Zu erklären blieb noch der Unterschied, den Granit, Porphyr, Basalt usw. gegenüber den eigentlichen, porösen und meist kein deutliches kristallinisches Gefüge aufweisenden Laven der noch tätigen Vulkane besitzen. Die Schwierigkeit wurde dadurch gehoben, daß zu jener Zeit die experimentelle Geologie einsetzte und Beweise für die Richtigkeit der Huttonschen Lehre schuf. James Hall, ein Landsmann Huttons und der Begründer des geologischen Experimentes, zeigte, daß die Laven des Vesuvs, wenn man sie schmilzt und langsam erstarren läßt, kristallinische Massen geben, deren Gefüge von den Bedingungen dieses Versuches abhängt. Die Ansicht der Neptunisten, daß eine kristallinische Beschaffenheit stets auf eine Ausscheidung aus wässriger Lösung hindeute, war dadurch als Irrtum nachgewiesen. Andererseits wurde die Ansicht Huttons, nach welcher der hohe Druck, unter dem sich Gesteine im Erdinnern bilden, die Beschaffenheit ihres Gefüges bedinge, durch die Versuche Halls als richtig dargetan. Hall schmolz z. B. Kreide in geschlossenen Gefäßen, so daß eine Zersetzung in Kalk und Kohlensäure nicht eintreten konnte. Auch

[1]) J. Hutton, Theory of the Earth. Edinburg 1795. 2 Bände. Ein Auszug in deutscher Sprache erschien im 6. Bande von Voigts Magazin der Physik.

in diesem Falle war das Erstarrungsprodukt körnig kristallinisch und mit dem Marmor völlig identisch. Die älteren, unter Druck und langsam aus dem Schmelzfluß erstarrten Massengesteine wurden fortan als plutonische Gesteine bezeichnet.

Weit vorangeeilt war Hutton seinen der Katastrophenlehre huldigenden Zeitgenossen durch die Gesamtauffassung, die er sich vom geologischen Geschehen gebildet. Er zeigte sich nämlich schon von den beiden Grundvorstellungen beherrscht, welche erst seit Lyell Gemeingut der Geologen geworden ist. Hutton lehnt einmal den Gedanken, daß es sich in der Entwicklung der Erde um Katastrophen oder gar um übernatürliche Kräfte gehandelt habe, entschieden ab und sucht die Tatsachen aus den bekannten, noch heute wirkenden Kräften zu erklären. Da deren Wirkung innerhalb kleiner, der Beobachtung allein zugänglicher Zeiträume aber nur geringfügig ist, so nahm er zweitens die uns schon bei Buffon begegnende Vorstellung bedeutender Zeiträume zu Hilfe, innerhalb deren die Wirkungen der geologischen Kräfte sich zu großen Gesamtwirkungen summieren mußten.

Hinsichtlich der geschichteten Gesteine entwickelte Hutton gleichfalls Ansichten, die sich im wesentlichen mit den heutigen geologischen Anschauungen decken. Für diese Gesteine nahm er einen doppelten Ursprung an. Sie entstanden auf dem Grunde der Gewässer als Sand- oder Tonschichten aus dem Material, das sich durch die Zertrümmerung des festen Landes bildete, und diese Schichten wechseln mit Kalksteinen ab, die ihrerseits aus den Schalen der Meeresbewohner hervorgingen. An die Oberfläche gelangten die sedimentären Gesteine nicht etwa durch das Sinken des Meeresspiegels, wie manche von den älteren Geologen annahmen, sondern die vulkanische Hitze bewirkte eine teilweise Hebung der Erdkruste. Unter dem Einfluß dieser Hitze sollten sich auch die Sedimente verfestigt haben, eine Ansicht, welcher die neuere Geologie allerdings nicht in ihrem ganzen Umfange beipflichtet. Die Huttonsche Schule hat auch die erodierende Tätigkeit des Wassers in vortrefflicher Weise gewürdigt und zuerst auf die gestaltende und transportierende Wirkung des Gletschereises hingewiesen[1]).

Sollte das Studium der Gebirgsglieder Licht über die Entwicklungsgeschichte der Erde verbreiten, so mußte die Aufmerksamkeit sich in steigendem Maße den Einschlüssen der Gesteine,

[1]) John Playfair (Schüler Huttons) lebte von 1748—1819, Illustration of the Huttonian Theory. 1802.

den Versteinerungen, zuwenden. Die alte, verbreitete Meinung, man habe es in diesen Körpern mit Naturspielen oder mit den Überresten der Sündflut zu tun, wich allmählich der Erkenntnis, daß die Fossilien Zeugnis von vergangenen Tier- und Pflanzenschöpfungen ablegen. So entstand die Paläontologie, welche, vereint mit der gleichfalls im 18. Jahrhundert sich entwickelnden Geognosie, die Grundlage für die geologische Wissenschaft des 19. Jahrhunderts bilden sollte. Es entstanden Schriften über die fossilen Pflanzen, wie das Werk Scheuchzers[1]). Und im Jahre 1755 erschien in Deutschland ein größeres, systematisches Werk paläontologischen Inhalts, das sich den großen naturhistorischen Werken der Botaniker und der Zoologen dieses, sowie des verflossenen Zeitraums als ebenbürtig zur Seite stellen konnte[2]).

Der Schweizer Scheuchzer (1672—1733) war der Hauptvertreter der „Diluvianer", die alle Versteinerungen als Zeugnisse für die Sintflut betrachten. Einen im Kalkschiefer zu Oeningen gefundenen Abdruck, den Cuvier später einem Salamander (Andrias Scheuchzeri) zuschrieb, hielt Scheuchzer für den homo diluvii testis, das „Beingerüst eines verruchten Menschenkindes, um dessen Sünde willen das Unglück über die Welt hereingebrochen."

Der Verfasser des erwähnten paläontologischen Hauptwerkes war der Nürnberger Sammler und Maler Knorr[3]). Unterstützt durch den Jenenser Professor Walch gab Knorr ein mit hunderten von kolorierten Tafeln versehenes Werk heraus, das für die Versteinerungskunde grundlegend gewesen ist. Die Erläuterungen der Tafeln rühren von Walch her und gelten als Muster gründlicher Gelehrsamkeit, während die Herstellung der 275 Tafeln stets als Zeugnis eines bewunderungswürdigen Fleißes betrachtet wurden.

Das Werk von Knorr und Walch umfaßt vier Foliobände. Sein reicher Inhalt kann hier nur angedeutet werden. Berücksichtigt werden die fossilen Fische, Krebse, Seelilien (Crinoideen), Ammoniten, Nautiliden, Muscheln, Schnecken, Brachiopoden, Schwämme, Korallen, Belemniten usw. Am vortrefflichsten ist der Abschnitt über die für das Silur charakteristische Krebstier-

1) Scheuchzer, Herbarium diluvianum. 1721.

2) Knorrs mit 300 vortrefflichen Kupfertafeln versehenes Werk vom Jahre 1755, das unter dem Titel „Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur und Altertümer des Erdbodens" in Nürnberg erschien.

3) Georg Wolfgang Knorr, 1705—1761.

gruppe der Trilobiten. Aus dem Pflanzenreiche werden die fossilen Hölzer und die Steinkohlenpflanzen genauer beschrieben. Der Wert des Werkes wird dadurch noch erhöht, daß es für die gesamte frühere Literatur die vollständigste und zuverlässigste Fundgrube ist.

Werner und seine Schüler hatten ihr Augenmerk in erster Linie auf die Zusammensetzung und die Lagerung der Gebirgsglieder gerichtet und den Versteinerungen nur eine geringe Aufmerksamkeit gezollt. Erst gegen das Ende des 18. Jahrhunderts lernte man diese Einschlüsse der geschichteten Gesteine nicht mehr als Kuriositäten sondern als geschichtliche Denkmäler schätzen und ihr Verhältnis zur gegenwärtigen Lebewelt begreifen. Die Blattabdrücke der steinkohlenführenden Schichten z. B. hatten die älteren Geologen auf tropische Gewächse zurückgeführt. Und es erschien fast als ein Wagnis, daß 1784 ein Geologe[1]) erklärte, die betreffenden Überbleibsel hätten nichts mit jetzt lebenden Pflanzen gemein, sondern seien auf gänzlich ausgestorbene Arten zurückzuführen.

Große fossile Knochen von Säugetieren hatte man zwar seit dem Altertum hin und wieder ausgegraben. Erwähnung finden derartige Funde z. B. schon bei Plinius, Sueton und später bei Athanasius Kircher. Das wissenschaftliche Interesse wandte sich ihnen indessen erst im 18. Jahrhundert zu, in welchem sich ihre Häufigkeit auffallend mehrte und man sich nicht mehr mit der Fabel begnügte, daß es sich hier um untergegangene Riesengeschlechter handele. Im Jahre 1700 entdeckte man bei Kannstatt fossile Knochen, unter denen sich sehr viele Elefantenzähne befanden, und etwa 100 Jahre später konnte Blumenbach mehrere hundert Stellen angeben, an welchen man in Deutschland Überreste eines vorweltlichen Elefanten gefunden hatte, den Blumenbach als Elephas primigenius (Mammut) von den lebenden Arten dieser Gattung unterschied. Die ersten Nachrichten über das Vorkommen von Mammutresten in Sibirien stammen aus dem Jahre 1725, und gegen das Ende des 18. Jahrhunderts vermochte Pallas[2]) nachzuweisen, daß der Boden des nördlichen Asiens mit den Überresten des Mammuts förmlich durchsät sei.

---

[1]) G. A. Suckow, Näheres siehe Zittel, Geschichte der Geologie. S. 214.
[2]) Siehe Seite 410 dieses Bandes.

Ähnliche, von gewaltigen Landsäugetieren herrührende Funde machte man während des 18. Jahrhunderts in Amerika. Aus Resten, die man im nördlichen Teile dieses Kontinents entdeckte, gelang es, das Skelett des Mastodon wieder herzustellen; und im Jahre 1789 kam das vollständige, in den Pampas ausgegrabene Skelett eines riesigen Geschöpfes nach Europa. Das ausgestorbene Tier Südamerikas, dem es angehörte, wurde unter dem Namen Megatherium (Riesenfaultier) beschrieben. Um dieselbe Zeit bemerkte man im Pariser Gips zum ersten Male fossile Knochen von Vögeln.

Ein ganz neuer Geist wurde der Paläontologie eingehaucht, als Cuvier sie mit der Zoologie und mit der vergleichenden Anatomie in die engste Verbindung brachte. Wie auf diese Weise die Versteinerungskunde sich aus der bloßen Naturbeschreibung zu einer induktiv verfahrenden, modernen Wissenschaft entwickelte, bleibt späterer Darstellung vorbehalten.

Namenverzeichnis.

L.

M.

N.

O.

P.

R.

Verzeichnis der Abbildungen.

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG.

Die Naturwissenschaften
in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhange

dargestellt von **Friedrich Dannemann.**

Erster Band:

Von den Anfängen bis zum Wiederaufleben der Wissenschaften.

Mit 50 Abbildungen im Text und einem Bildnis von Aristoteles.

24 Bogen gr. °.
Preis geheftet Mk. 9, in Leinen gebunden Mk. 10.

Inhalt des ersten Bandes.

Dr. Fr. Dannemann,

Aus der Werkstatt großer Forscher.

Allgemeinverständliche erläuterte Abschnitte aus den Werken hervorragender Naturforscher aller Völker und Zeiten.

3. Aufl., geb. **6,80 Mk.**

Der Leser gewinnt hierdurch ein klares und anschauliches Bild nicht allein von der Bedeutung der Leistung des betreffenden Forschers, sondern auch von der Eigenart seiner Geistesarbeit und seiner Darstellungsweise und kann so die Entwicklung der Gesamtwissenschaft, wenn auch nur skizzenhaft, in objektiver Form verfolgen. (Naturwissensch. Rundschau 1897. Nr. 26.)

Daß die Bekanntschaft mit den Quellen auch die reiferen Schüler nach jeder Richtung hin fördert und anregt, ist ... anerkannt; demgemäß hat man eine Reihe von Hilfsmitteln solcher Art bereits in den Dienst der höheren Schule gestellt. Dem Verf. vorliegenden Werkes ist es hoch anzurechnen, daß er eine solche, bis dahin fehlende Quellensammlung aus dem Gesamtgebiet der Naturwissenschaften veranstaltet und damit auch dem naturwissenschaftlichen Lehrer ein treffliches Anregungsmittel geboten hat.
(Literarisches Zentralblatt 1896. Nr. 41.)

Let us hope the English language will soon possess a like work.
(Pharmaceutical Review 1896. Nr. 12.)

The choice of material is excellent and too much has been offered in no case, the collection is as admirable for what it omits as for what it includes.
(Journal of Physical Chemistry Nr. 3. 1896.)

Den Schülerbibliotheken sei die Anschaffung des Grundrisses in zahlreichen Exemplaren besonders empfohlen, um diese beim Unterricht unter möglichst viele Schüler verteilen zu können. Ebenso wird das Buch zu Prämien nützlichste Verwendung finden.
(Jahresberichte üb. d. höhere Schulwesen. XI. Jahrg.)

Auch erfolgten Empfehlungen seitens höherer Schulbehörden wie des Großherzoglich Badischen Oberschulrates, der Königl. Württemb. Kultusministerial-Abteilung und des k. k. österr. Kultusministeriums.

Inhalt.

1. Aristoteles begründet die Zoologie.
2. Theophrast begründet die Botanik.
3. Archimedes entwickelt die Prinzipien der Mechanik.
4. Des Archimedes Sandesrechnung.
5. Die Begründung der Mechanik der Gase und Dämpfe.
6. Die naturwissenschaftlichen Kenntnisse des Altertums werden von Plinius gesammelt.
7. Die Naturwissenschaften im Mittelalter.
8. Die Aufstellung des heliozentrischen Weltsystems.
9. Die Ausbreitung der Koppernikanischen Lehre durch Galilei.
10. Die Entdeckung der Jupitermonde und der Saturnringe.

11. Galilei als Begründer der Dynamik.
12. Der weitere Ausbau der Astronomie durch Kepler.
13. Kepler begründet die neuere Optik.
14. Gilbert erforscht die Natur des Magneten. 1600.
15. Bacons Eintreten für die induktive Forschungsweise. 1620.
16. Pascal entdeckt die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Höhe des Ortes. 1648.
17. Die Erfindung der Luftpumpe.
18. Newton erforscht die Natur des Sonnenlichtes. 1670.
19. Newton entdeckt das Gravitationsgesetz. 1682.
20. Newton entwickelt die Prinzipien der Naturlehre.
21. Das Licht wird von Huygens für eine Wellenbewegung des Äthers erklärt. 1678.
22. Die Entdeckung des Mariotteschen Gesetzes.
23. Das Auftauchen der ersten klaren Vorstellungen über die Verbrennung und die Atmung.
24. Swammerdam zergliedert die Insekten.
25. Die Begründung der Pflanzenphysiologie.
26. Celsius führt die hundertteilige Thermometerskala ein.
27. Die Lehre von der Sexualität der Pflanzen.
28. Das künstliche Pflanzensystem Linnés.
29. Die Polypen werden als tierische Organismen erkannt.
30. Kant erklärt den Ursprung des Weltgebäudes. 1755.
31. Laplace entwickelt ähnliche Ansichten über den Ursprung des Weltgebäudes wie Kant. Kant-Laplacesche Hypothese. 1796.
32. Herschel begründet die Astronomie der Fixsterne.
33. Die Meteore werden als kosmische Massen erkannt. 1794.
34. Die Wellentheorie findet einen hervorragenden Verfechter. 1760.
35. Die photometrischen Grundbegriffe.
36. Die Erfindung des Blitzableiters 1753.
37. Die Entdeckung der elektrischen Influenz und der Pyroelektrizität. 1758.
38. Scheele entdeckt den Sauerstoff und analysiert die atmosphärische Luft. 1773.
39. Lavoisier erklärt die Verbrennungserscheinungen. 1774.
40. Die Erfindung des Eiskalorimeters und die Bestimmung von spezifischen Wärmen und Verbrennungswärmen mittelst desselben. 1780.
41. a) Die Entdeckung der galvanischen Elektrizität.
    b) Volta, Über die Elektrizität, welche durch die bloße Berührung verschiedenartiger leitender Stoffe hervorgerufen wird.
42. Die Botanik unter dem Einflusse der Metamorphosenlehre.
43. Die Begründung der Blütenbiologie.
44. Saussure begründet die Ernährungsphysiologie der Pflanzen. 1800.
45. Das Menschengeschlecht wird in fünf Rassen oingeteilt.
46. Cuvier begründet durch Verschmelzung der Zoologie mit der vergleichenden Anatomie ein natürliches System. 1812.
47. Die Aufstellung der atomistischen Hypothose. 1808.
48. Gay-Lussac entdeckt das Volumgesetz. 1808.
49. Das von Courtois (1811) entdeckte Jod wird von Gay-Lussac eingehend untersucht.
50. Die Entdeckung von Natrium und Kalium. 1807.

51. Die Entdeckung des Aluminiums. 1827.
52. Cuviers Katastrophentheorie. 1812.
53. Lyell begründet die neuere Richtung der Geologie. 1830.
54. Die Entdeckung des Elektromagnetismus. 1820.
55. Die Entdeckung der galvanischen und der magnetischen Induktion. 1832.
56. Es werden die experimentellen Grundlagen für eine elektromagnetische Theorie des Lichtes gewonnen.
57. Die Entdeckung des Diamagnetismus.
58. Die Erfindung der Photographie.
59. Die Physiologie erhält durch Johannes Müller eine wissenschaftliche Grundlage.
60. Die Zelle wird als das Elementarorgan des tierischen und pflanzlichen Organismus erkannt. 1839.
61. Die Physiologie wendet sich gegen die Annahme einer besonderen Lebenskraft.
62. Liebig beantwortet die Frage nach der Ernährung der Pflanzen. 1840.
63. Die Kryptogamenkunde wird durch wichtige Beobachtungen über die Fortpflanzung der Algen bereichert.
64. Darwin erklärt die Entstehung der Koralleninseln.
65. Carnot entwickelt eine Theorie der Dampfmaschine. 1824.
66. Die erste Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns. 1838.
67. Das Dopplersche Prinzip. 1842.
68. Das Prinzip von der Erhaltung der Kraft.
69. Die Entdeckung des Ozons. 1840.
70. Der rote Phosphor wird als eine Modifikation des Elementes Phosphor erkannt. 1850.
71. Alexander von Humboldt vereinigt die Summe des Naturwissens seiner Zeit zu einem Gesamtbilde. 1845.
72. Kirchhoff und Bunsen schaffen die Spektralanalyse.
73. Pasteur weist nach, daß auch die niedrigsten Organismen aus Keimen und nicht durch Urzeugung entstehen. 1860.
74. Das Protoplasma wird als die Grundlage des organischen Lebens erkannt.
75. Hertz erforscht die Beziehungen zwischen dem Licht und der Elektrizität.

Nachdem wir beim Erscheinen der dritten Auflage des Werkes: Dannemann, Grundriß einer Geschichte der Naturwissenschaften den Preis für den I. Band:

Aus der Werkstatt großer Forscher

auf **6 Mk.** herabgesetzt haben, offerieren wir den II. Band:

Die Entwicklung der Naturwissenschaften

zu dem gleichfalls herabgesetzten Preise von **8 Mk.** Beide Bände zusammen sind für **12,50 Mk.** (gebunden für **14,50 Mk.**) zu beziehen.

Auszüge aus den Besprechungen des Werkes:

Dannemann, **Grundriß einer Geschichte der Naturwissenschaften.**

II. Band: **Die Entwicklung der Naturwissenschaften.**

Über den ersten Band konnte Beibl. 20, p. 816 auf das Günstigste berichtet werden. Der zweite Band gibt eine knappe Darstellung der Geschichte der Naturwissenschaften, vor allem der Physik, Chemie und Astronomie; sie gibt eine sehr lesbare, gute Übersicht über das Gebiet.

(Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie 1899. Heft 2.)

In klarer, allgemein verständlicher Sprache wird die Geschichte der gesamten Naturwissenschaften von Aristoteles bis auf unsere Tage dem Leser vorgeführt. Die übersichtliche Form, die leicht faßliche, anregende Darstellung machen das Werk besonders für die höheren Klassen unserer Schulen geeignet; doch wird jeder, der sich für Naturwissenschaften interessiert, aus dem Buche viel Anregung und Belebrung schöpfen. Erhöht wird der Wert des Buches durch die getreue Wiedergabe zahlreicher Abbildungen aus den Originalwerken.

(Naturwiss. Rundschau XIV. Jahrg. Nr. 31 [1899].)

Noch höheren Wert muß man dem zweiten Bande des Werkes beimessen, in dem der Verfasser die fast unlösbar scheinende Aufgabe, das gesamte Gebiet der Naturwissenschaften in einer abgerundeten, alle bedeutsamen Einzelheiten zur Erwähnung bringenden und doch nicht in öde Aufzählung dieser Einzelheiten auslaufenden Darstellung zu umfassen, in meisterhafter Weise gelöst hat. Das war freilich nur für einen Mann möglich, bei dem sich mit einer außerordentlichen Kenntnis der Einzelheiten des Stoffes eine in jeder Zeile zutage tretende, auf die allgemeinen und großen Gesichtspunkte gerichtete Geistesanlage verbindet. . . . Ich kann nur damit schließen, daß ich dem Werke, dessen Brauchbarkeit durch ein sehr vollständiges Namen- wie Sach-Register am Schlusse des zweiten Bandes erhöht wird, die weiteste Verbreitung in den Kreisen der Lehrer, der gereiften Schüler und aller Gebildeten wünsche.

(Unterrichtsblätter f. Mathematik u. Naturwissenschaften 1899. Nr. 1.)

Wir richten gern die Aufmerksamkeit unserer Leser auf das wohlgelungene Werk und hegen dabei den innigen Wunsch, daß es durch uns manchen Freund finde. Im allgemeinen sind die Kenntnisse aus der Geschichte der Naturwissenschaft im Publikum recht gering. Hier ist die Gelegenheit geboten, sich besser zu unterrichten; man ergreife sie und lerne!

(Die Natur 1899. Nr. 25.)

So bildet das obige Werk eine hervorragende Erscheinung auf dem Gebiete der naturwissenschaftlichen Literatur; und es ist gleich sehr zu wünschen als zu hoffen, daß es nicht unbeachtet vorübergehen möge.

(Kölnische Zeitung v. 21. Mai 1899.)

The work is an interesting contribution to the literature dealing with the development of the study of nature in many aspects, and as such is an inspiring volume for students of science.

(Nature 1899. Nr. 1533. Vol. 59.)·

„. . . Eines empfehlenden Wortes bedarf es daher nicht von neuem; nur sei jeder, der sich bisher noch nicht mit diesem vortrefflichen Werke bekannt gemacht hat, darauf hingewiesen, die sehr wertvolle Bekanntschaft nicht länger hinauszuschieben; insbesondere wird jeder Vater eines strebsamen Sohnes diesem kaum ein besseres Weihnachtsgeschenk machen können als die beiden, sauber gedruckten und inhaltreichen Bände.“

(Prof. Dr. Wilhelm Ostwald in der Zeitschrift für physikalische Chemie.)

Von demselben Verfasser erschienen ferner:

Otto von Guericke's neue „Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum (Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 59). Mit 15 Textfiguren. Leipzig, 1894. Verlag von Wilhelm Engelmann. Geb. M. 2.—.

Leitfaden für den Unterricht im chemischen Laboratorium. Vierte Auflage. 1909. Hahnsche Buchhandlung. (Als Vorwort diene des Verfassers Abhandlung „Über die Bedeutung, Einrichtung und Leitung praktischer Übungen im Laboratorium." Fries und Meyer, Lehrproben und Lehrgänge. Heft XXXV.)

Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage. brosch. M. 6.—. Dasselbe gebunden M. 6.80. Hahnsche Buchhandlung in Hannover und Leipzig. 1907.

Naturlehre für höhere Lehranstalten, auf Schülerübungen gegründet. Hahnsche Buchhandlung in Hannover und Leipzig. 1908.

Die „Naturlehre" ist nach den Gesichtspunkten verfaßt, die in dem Buche **„Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage"** entwickelt wurden. Sie ist der erste Versuch, den Unterrichtsstoff **mit grundlegenden Schülerübungen in engste Verbindung zu setzen.** Der erste Teil enthält den Lehrstoff für Chemie und Mineralogie; zwei kurze Abschnitte bringen das Wichtigste aus der Geologie und eine Anleitung zu pflanzenphysiologischen Versuchen. Der zweite Teil bringt die Physik.

Quellenbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften in Deutschland. (Deutsche Schulausgaben Nr. 39.) 158 Seiten. Geb. M. 1.20. Verlag von L. Ehlermann in Dresden.